

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA OBRÁBĚNÍ, MONTÁŽE A STROJÍRENSKÉ METROLOGIE**

# **Vrtání otvorů do tvrdých materiálů**

## **Drilling of Holes into Hard Materials**

Student:

Jan Pomykal

Vedoucí bakalářské práce

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Pomykal**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Vrtání otvorů do tvrdých materiálů**  
**Drilling of Holes into Hard Materials**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Technologie vrtání se zaměřením na vrtání do tvrdých materiálů.
3. Současná technologie vrtání v podmínkách firmy.
4. Návrh nové technologie vrtání otvorů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015



  
Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

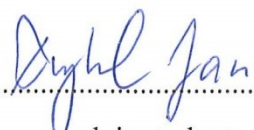
V Ostravě 15.5.2015

Dybl Jan  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2015

  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Pomykal

Adresa trvalého pobytu autora práce:

V. Nezvala 736, Frýdek-Místek, 738 01



## **Anotace bakalářské práce**

Pomykal, J. Vrtání otvorů do tvrdých materiálů. Ostrava: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2015, Bakalářská práce, vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřena řešením technologického problému s vrtáním otvorů do otěruvzdorných plechů. V úvodní části je popsána technologie vrtání, přehled nástrojů a strojů, dále rozbor otěruvzdorných plechů Hardox. V praktické části je řešeno zproduktivnění vrtání těchto otvorů a porovnání stávající a nově navržené technologie. Praktická část byla provedena ve firmě TMETAL s. r. o.

## **Annotation of bachelor thesis**

Pomykal, J. Drilling of Holes into Hard Materials. Ostrava: Department of machining, assembly and engineering metrology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University Ostrava, 2015, Bachelor thesis, Thesis head: doc. Ing. Robert Čep Ph.D.

Target of this Bachelor thesis is to find a solution to a technological problem of drilling into wear resistant plates. Theoretical part consists of drilling technology description, review of tools and machines used as well as analysis of the Hardox wear resistant plates. Practical part is aiming to increase productivity of wear plates drilling based on comparison of existing and newly designed technologies. Practical part was carried out in the TMETAL Company s.r.o.

## **OBSAH:**

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	8
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....	9
2. TECHNOLOGIE VRTÁNÍ .....	12
2.1. Vrtání .....	12
2.1.1. Řezná rychlost .....	13
2.1.2. Průřez třísky při vrtání .....	14
2.1.3. Síly při řezání .....	16
2.1.4. Jednotkový strojní čas .....	17
2.2. Druhy vrtacích operací a nástrojů .....	18
2.2.1. Dokončovací metody výroby děr .....	19
2.3. Rozdělení nástrojů .....	22
2.4. Šroubovitý vrták .....	23
2.4.1. Geometrie břitů .....	24
2.4.2. Opatření a ostření šroubovitých vrtáků .....	26
2.4.3. Materiály pro šroubovité vrtáky .....	27
2.5. Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami .....	27
2.6. Vrtáky s vyměnitelnou špičkou .....	29
2.7. Rozdělení strojů .....	30
3. PLECHY OD ŠVÉDSKÉ HUTI SSAB Oxelosund .....	31
3.1. Historie a vznik značky Hardox .....	31
3.2. Výrobní proces .....	31
3.3. Rozdělení .....	32
3.4. Doporučené podmínky při vrtání do plechu Hardox .....	34
4. SOUČASNÁ TECHNOLOGIE VRTÁNÍ OTVORŮ DO OCELI HARDOX V PODMÍNKÁCH FIRMY .....	35
4.1. Použitý obráběcí stroj .....	35
4.2. Použité nástroje .....	37
4.3. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu .....	37
4.4. Celkový čas vrtání jednoho plechu .....	39
5. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VRTÁNÍ .....	40
5.1. Varianta 1 - šroubovitý vrták HSS s příměsí CO 5 % .....	40
5.1.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu .....	41
5.1.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu .....	42
5.2. Varianta 2 - šroubovitý vrták HSS s příměsí CO 8% .....	43

5.2.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu .....	43
5.2.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu .....	44
5.3. Varianta 3 - šroubovitý vrták KSEM s vyměnitelnou korunkou .....	45
5.3.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu .....	48
5.3.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu .....	49
6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	50
6.1. Náklady na původní technologii .....	50
6.2. Náklady při použití varianty 1 - HSS vrtáku s příměsí CO 5% .....	51
6.3. Náklady při použití varianty 2 - HSS vrtáku s příměsí CO 8% .....	51
6.4. Náklady při použití varianty 3 - šroubovitého vrtáku KSEM .....	52
6.5. Celkové srovnání současné a navržené technologie .....	52
7. ZÁVĚR .....	54
PODĚKOVÁNÍ .....	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	56
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	58
SEZNAM TABULEK .....	59
SEZNAM PŘÍLOH .....	59

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Popis	Jednotky
$A_D$	jmenovitý průřez třísky	$[mm^2]$
$D$	průměr	$[mm]$
$F_c$	řezná síla	$[N]$
$F_f$	posuvová síla	$[N]$
$F_p$	pasivní síla	$[N]$
HB	tvrdost podle Brinella	
PVD	Physical Vapour Deposition (povlakování)	
$R_a$	drsnost povrchu	$[\mu m]$
$R_e$	mez kluzu	$[MPa]$
$R_m$	mez pevnosti v tahu	$[MPa]$
SK	slinuté karbidy	
TiN	nitrid titanu	
TiAlN	nitrid titanu a hliníku	
VBD	vyměnitelné břitové destičky	
$a_p$	šířka záběru ostří	$[mm]$
$b_D$	jmenovitá šířka třísky	$[mm]$
$f$	posuv na otáčku	$[mm \cdot ot^{-1}]$
$f_z$	posuv na zub	$[mm]$
$h_D$	jmenovitá tloušťka třísky	$[mm]$
$l$	délka vrtané díry	$[mm]$
$l_n$	náběh vrtáku	$[mm]$
$n$	otáčky nástroje	$[min^{-1}]$
$t_{AS}$	jednotkový strojní čas	$[min]$
$t_{AS1}$	strojní čas pro vyvrtání jedné díry	$[min]$
$t_{AS12}$	strojní čas pro vyvrtání 12 děr	$[min]$
$t_{AVB}$	vedlejší čas broušení	$[min]$
$t_{AV}$	vedlejší čas čas	$[min]$
$v_c$	výsledná řezná rychlost	$[m \cdot min^{-1}]$
$v_e$	rychlost řezného pohybu	$[m \cdot min^{-1}]$
$v_f$	rychlost posuvu	$[mm \cdot min^{-1}]$
$z$	počet zubů nebo břitů nástroje	
$\alpha_o$	úhel hřbetu	$[^\circ]$
$\beta_o$	úhel břitu	$[^\circ]$
$\gamma_o$	úhel čela	$[^\circ]$
$\varepsilon$	úhel špičky	$[^\circ]$
$\varphi$	úhel sklonu příčného ostří	$[^\circ]$
$\omega$	úhel stoupání šroubovitě drážky	$[^\circ]$

# 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vrtání patří mezi nejčastější operace obrábění. Nové konstrukční a řezné materiály, možnosti povlakování, současné výrobní a technologické požadavky jsou stálým impulsem k vývoji a inovaci vrtacích nástrojů. V dnešní době je toto odvětví zastoupeno ve všech částech republiky. Kromě velkých strojírenských závodů existuje značný počet drobných firem, které se specializují na určité odvětví. Mezi ně patří i firma TMETAL s. r. o. se sídlem ve Fryčovicích.

Společnost TMETAL s. r. o. byla založena v roce 1995. Zabývá se projektováním, výrobou a montáží středně těžkých ocelových konstrukcí. Výrobní kapacita za rok je cca 5 000 tun ocelových konstrukcí a dělí se na dvě divize:

## Divize ocelových konstrukcí

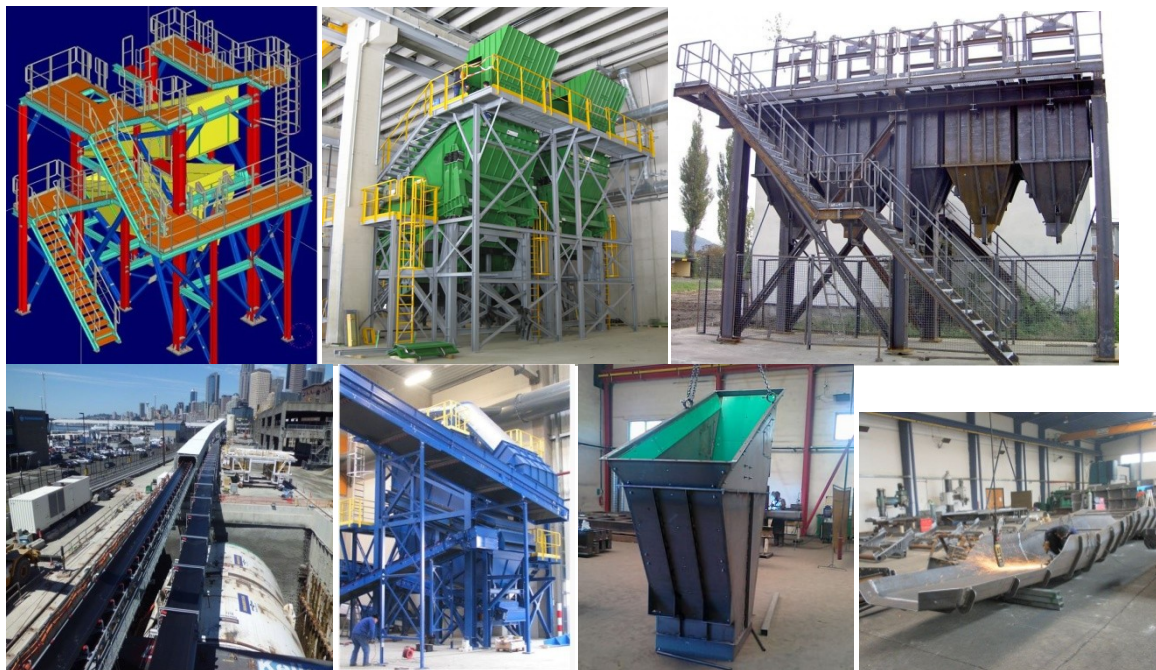
- Ocelové konstrukce průmyslových hal
- Technologické konstrukce pro energetiku
- Konstrukce pro zábavu a volný čas
- Schodišťové věže, podpěry, plošiny, rámy
- Zakázková výroba dle přání zákazníka



*Obr. 1 Produkty divize ocelových konstrukcí firmy TMETAL s. r. o.*

### Divize technologických konstrukcí, strojů a zařízení

- Těla strojů pro třídění odpadků, kamení, skla
- Třídíče, žlaby, skluzu, zásobníky, stripovací rošty do sléváren
- Technologické podpůrné konstrukce strojů pro třídění materiálů
- Vibrační a jiné rámy



*Obr. 2 Produkty divize tech. konstrukcí, strojů a zařízení firmy TMETAL s. r. o.*

Výše uvedené výrobky jsou dodávány převážně partnerům na zahraniční trh v Německu a Rakousku. Dodávky obou divizí nacházejí uplatnění v těžkém průmyslu, jako jsou doly, hutě, slévárny, chemický průmysl, významná část se uplatňuje v ekologii (zpracování a třídění odpadků), v dopravě kamení, písku, různých rud či v ražení tunelů. Produkty následně putují díky našim odběratelům/partnerům dále do celého světa.

Základním vstupním materiálem produktů jsou ocelové profily jakostí S235, S355 a plechy jakostí S235, S355, nerezové oceli 1.4301 a otěrové plechy tvrdosti 400 až 500 HB (Hardox, Dillidur). Otěruvzdorné plechy se u zákazníků používají převážně na vyvložkování výsypek, skluzů a žlabů v těžebních a třídících stanicích.

Otěruvzdorné plechy se zpravidla na přání zákazníka připevňují na stěnu násypky pomocí zápusných šroubů kvůli možnosti výměny opotřebovaného plechu. Otvory v materiálech Hardox se v minulosti nechávaly vrtat u firem, kde se zároveň materiál



objednával, což bylo velice nákladné. V současnosti se firma snaží najít co nejekonomičtější způsob výroby těchto otvorů.



*Obr. 3 Výsypka pro třídící stanici*

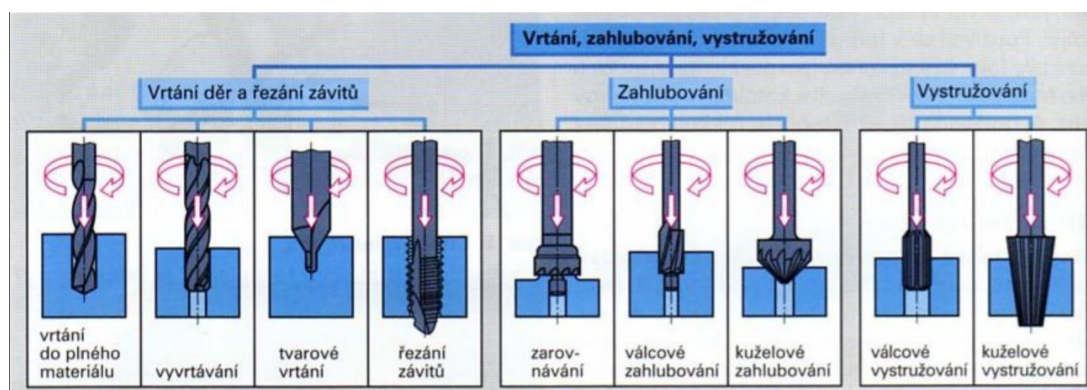


*Obr. 4 Vyvložkovaná stěna výsypky*



## 2. TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Vrtáním, vyhrubováním, vystružováním a zahlubováním zhotovujeme díry různých velikostí, tvarů, vzájemných poloh ploch, přesností rozměrů a drsnosti.



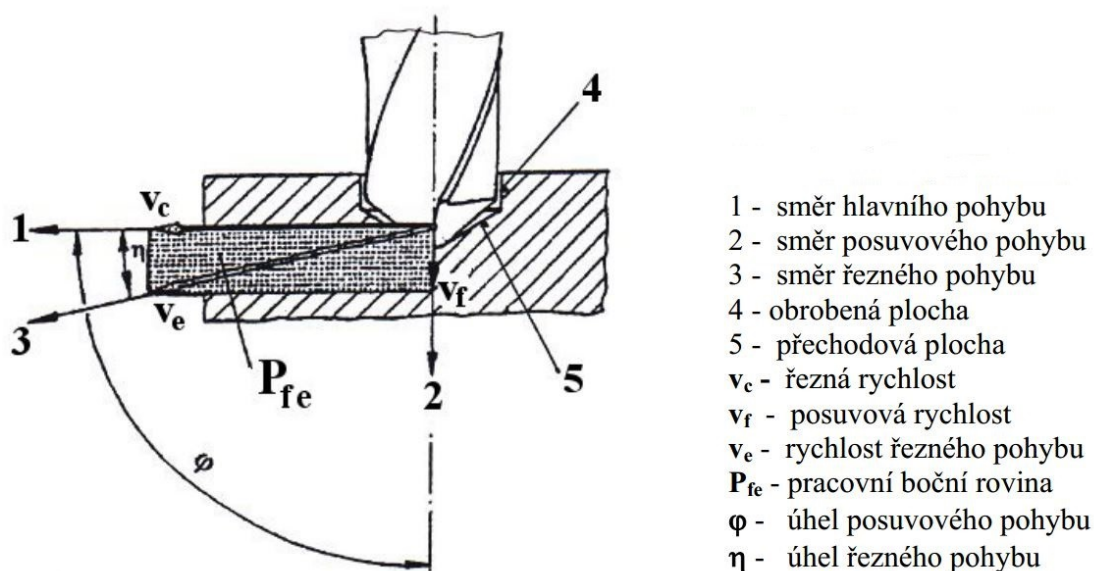
Obr. 5 Výrobní operace vrtání, zahlubování a vystružování [3]

Vrtání patří k nejstarším a nejčastějším způsobům obrábění. Vrtáním se zhotovují průchozí či neprůchozí otvory válcového tvaru do plného materiálu. Jako nástroj se používá nejčastěji šroubovitý vrták, kterým lze vrtat do plného materiálu nebo jej lze použít na zvětšování předpracovaných děr. Vrtat lze na vrtačkách a soustruzích různých druhů, na jednoúčelových strojích apod.

### 2.1. Vrtání

Je druh obrábění, při kterém se nástroj vůči obrobku otáčí a současně se do něj ve směru osy otáčení posouvá tak, aby jeho řezné hrany odebíraly z materiálu obrobku třísku.

Je to technologická operace, kterou se vyrábějí vnitřní rotační plochy v různých materiálech. Hlavní řezný pohyb je relativní pohyb vrtáku nebo obrobku a obvykle se určuje řeznou rychlostí. Je rotační, na vrtačkách ho provádí nástroj, na soustruzích obrobek. Posuv je složka výsledného řezného pohybu, daná pohybem nástroje nebo obrobku. Výsledným pohybem, který vykonávají všechny body řezných hran kromě bodu ležícího v ose otáčení je šroubovice. Stoupání šroubovice se rovná velikosti posuvu za jednu otáčku.



Obr. 6 Kinematika vrtání šroubovitým vrtákem [5]

### 2.1.1. Řezná rychlost

Při vrtání se řezná rychlost a posuv volí v závislosti na typu nástroje, druhu operace, podle obráběného materiálu a dle požadované kvality tak, aby se dosáhla co nejvyšší produktivita práce při co nejnižších nákladech. Řezné podmínky, při kterých se dosáhne vhodný poměr mezi časem vrtání a trvanlivostí řezných hran, se nazývají hospodárné. Při snižování řezných podmínek pod tuto hodnotu se čas potřebný na zhotovení díry prodlouží, při jejich zvýšení prudce klesá trvanlivost řezných hran a tím i životnost nástroje.

Řezná rychlost  $v_c$  při vrtání se počítá podle obvodové rychlosti bodu řezné hrany, který je nejvíce vzdálený od osy otáčení. Je charakterizována průměrem nástroje a počtem jeho otáček. Průměr nástroje je udáván v mm, proto se výpočet musí dělit 1 000 na výslednou hodnotu  $v_c$ . [3,6]

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

$D$  - průměr nástroje [mm]

$n$  - otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ]

Rychlost posuvu nástroje, popřípadě obrobku, je možné vypočítat z otáček  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] a posuvu na otáčku  $f$  [ $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ]. [1]

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

Výpočet rychlosti řezného pohybu [2]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.3)$$

V případě, že nástroj má více břitů (nástroje na dokončovací operace), lze definovat hodnotu posuvu na zub (břit)  $f_z$  vztahem [2]:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (1.4)$$

$z$  - počet břitů nástroje [-]

### 2.1.2. Průřez třísky při vrtání

Parametry průřezu třísky jsou uvedeny na Obr. 7. Jmenovitý průřez třísky  $A_D$ , odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku, pro vrtání do plného materiálu či při zvětšování předvrtané díry můžeme vyjádřit z obecného vztahu [1]:

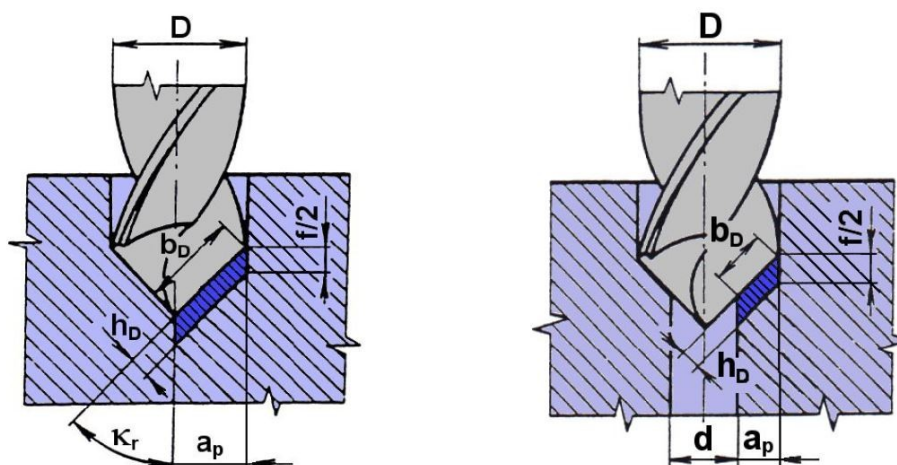
$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f_z \quad [\text{mm}^2] \quad (1.5)$$

$b_D$  - jmenovitá šířka třísky [mm]

$h_D$  - jmenovitá tloušťka třísky [mm]

$a_p$  - šířka záběru ostří [mm]

$f$  - posuv na břit [mm]



Obr. 7 Průřez třísky při vrtání dvoubřitým šroubovitým vrtákem [1]

Šířka záběru ostří šroubovitého vrtáku při vrtání do plného materiálu je  $a_p = D/2$ , pro vrtání do předpracované díry  $a_p = (D - d)/2$ . Šířka záběru ostří ve směru posuvu  $a_f = f/2$ . Po dosazení do rovnice (1.5) má rovnice pro výpočet průřezu třísky, odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu, tvar [1]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.6)$$

Při vrtání do předpracované díry vyjádříme průřez třísky takto:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.7)$$

Při použití dvoubřitého nástroje vyjádříme průřez třísky, při vrtání do plného materiálu, takto [1]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.8)$$

Při vrtání do předpracované díry vyjádříme průřez třísky takto [1]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{42} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.9)$$

Pomocí následujících vztahů se vyjádří parametry průřezů třísky při obrábění šroubovitým vrtákem [1]:

Jmenovitá tloušťka [1]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (1.10)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu [1]:

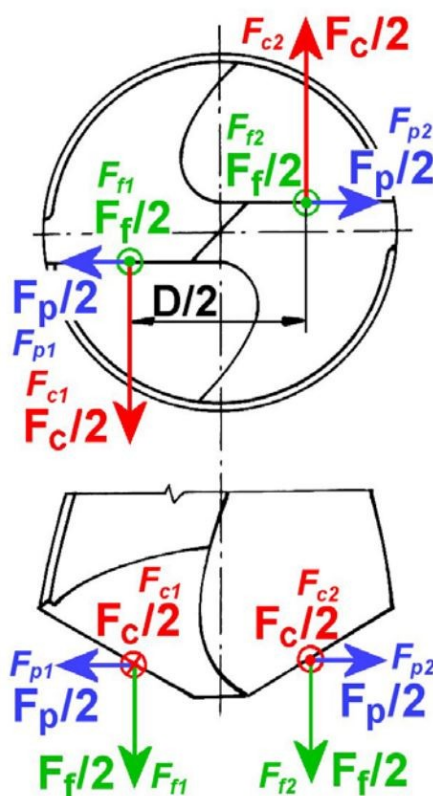
$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.11)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do předpracované díry [1]:

$$b_D = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.12)$$

### 2.1.3. Síly při řezání

Při vrtání klasickým šroubovitým nebo kopinatým vrtákem je materiál oddělován současně dvěma břity nástroje, symetricky postavenými vůči jeho ose. Výsledné síly jsou pak tvořeny součtem nebo rozdílem hodnot na obou břitech nástroje (Obr. 8). [1,4]



Obr. 8 Řezné síly při vrtání [4]

Posuvová složka síly při vrtání [1]:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad [N] \quad (1.13)$$

Pasivní složka síly při vrtání [1]:

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} \quad [N] \quad (1.14)$$

Řezná složka síly při vrtání [1]:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad [N] \quad (1.15)$$

Pokud je vrták správně a přesně naostřen, jsou síly na obou břitech stejné [1]:

$$F_{f1} = F_{f2} = \frac{F_f}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.16)$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_p}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.17)$$

A proto  $F_p = 0$ ,

$$F_{c1} = F_{c2} = \frac{F_c}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.18)$$

Při vrtání, stejně jako při soustružení, lze stanovit jednotlivé složky síly vrtání pro celý nástroj pomocí empirických vztahů [1]:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \quad [\text{N}] \quad (1.19)$$

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad [\text{N}] \quad (1.20)$$

$C_{F_f}, C_{F_c}$  - konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu [-]

$x_{F_f}, x_{F_c}$  - exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku [-]

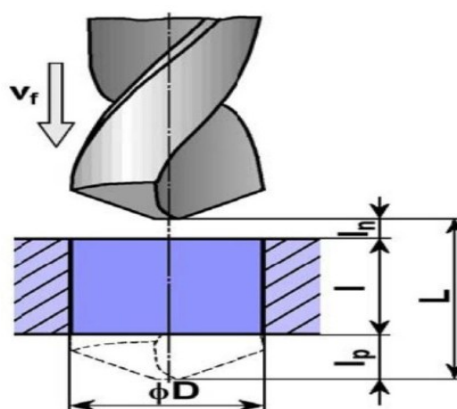
$y_{F_f}, y_{F_c}$  - exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-]

Pro zjištění řezného výkonu při vrtání existuje vztah [1]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \quad [\text{kW}] \quad (1.21)$$

#### 2.1.4. Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas při vrtání průchozí díry na základě Obr. 9 pomocí vztahu [1]:



Obr. 9 Dráha nástroje [1]

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (1.22)$$

$l_n$  - náběh vrtáku [mm]

$l$  - délka vrtané díry [mm]

$l_p$  - přeběh vrtáku [mm]

$v_f$  - posuvová rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$n$  - otáčky vrtáku [ $\text{min}^{-1}$ ]

$f$  - posuv na otáčku [mm]

Pro standardní vrtáky s úhlem špičky  $2\kappa_r = 118^\circ$  získáme hodnotu přeběhu  $l_p$  a hodnotu náběhu  $l_n$  ze vztahu [1]:

$$l_p = 0,5D \cdot \text{tg}31^\circ + (0,5 \div 1,0) \cong 0,3D + (0,5 \div 1,0) \quad [\text{mm}] \quad (1.23)$$

$$l_n = (0,5 \div 1,0) \quad [\text{mm}] \quad (1.24)$$

## 2.2. Druhy vrtacích operací a nástrojů

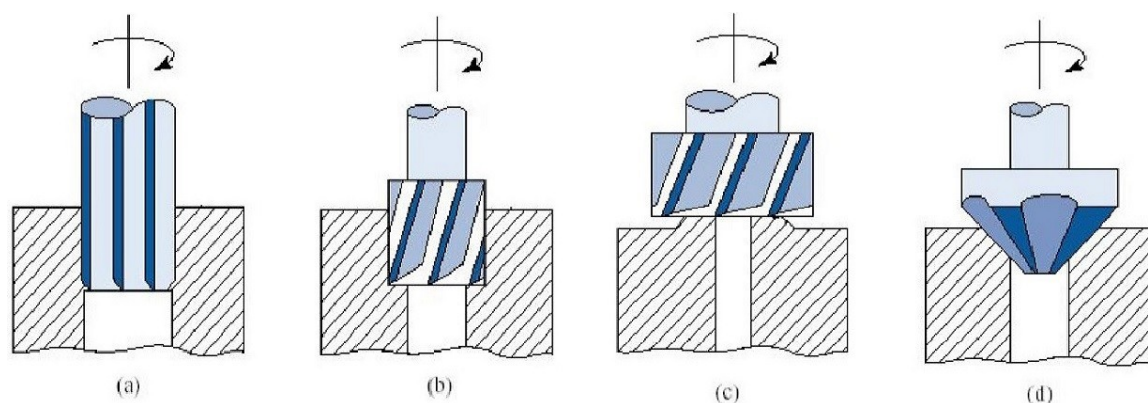
Podle technologie vrtání, druhu, konstrukce a geometrie použitého vrtáku lze vrtání rozdělit dle následujícího sledu:

- navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu
- vrtání krátkých děr (poměr  $D/L = 1/5 \div 1/10$ , kde  $D$  je průměr díry,  $L$  je délka díry) do plného materiálu
- vrtání krátkých děr do předpracovaných děr
- vrtání hlubokých děr (poměr  $D/L > 1/10$ ) do plného materiálu nebo předpracovaných děr
- vrtání průchozích děr, zejména větších průměrů, vrtání „na jádro“, tj. odřezáváním obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřitým nebo vícebřitým korunkovým (trepanačním) vrtákem
- speciální případy vrtání, např. vrtání děr v plechu, vrtání odstupňovaných děr, vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním nebo hlazením (sdružené nástroje)
- vrtání děr v těžkoobrobitelných, kompozitních a nekovových materiálech (plastické hmoty, pryže, beton, kámen, cihly). [1]



### 2.2.1. Dokončovací metody výroby děr

Procesem vrtání se zhotovují otvory s přesností IT11 až IT14 s dosahovanou drsností povrchu  $R_a$  12,5 až 6,3  $\mu\text{m}$ . Pokud je požadována vyšší přesnost a drsnost povrchu, je zapotřebí zvolit jednu z dokončovacích metod (vyhrubování, vystružování, zahlubování, broušení, honování apod.). Volba způsobu dokončování závisí na rozměru díry, konstrukci obrobku, vlastnosti obráběného materiálu, počtu vyráběných kusů a technickými možnostmi. Tyto operace se provádí nejčastěji na vrtačkách, v případě potřeby na soustruzích, vodorovných vyvrtávačkách a obráběcích centrech.



Obr. 10 Dokončovací operace [5]

- a – vyhrubování, vystružování,
- b – válcové zahlubování,
- c – čelní zahlubování
- d – kuželové zahlubování

#### Vyhrubování

Tato metoda slouží ke zpřesnění geometrického tvaru díry a k vytvoření rovnoměrného přídavku pro vystružování, přičemž se dosahuje stupeň přesnosti IT10 až IT12. Nástroje nazýváme výhrubníky. Mají obvykle 4 a více zubů. Vyrábí se s kuželovou stopkou do průměru 32 mm, nebo nástrčné od průměru 24 mm. Vyhrubování se používá u děr od průměru 10 mm. [7]

#### Vystružování

Je dokončovací operace na výrobu děr s předepsanými geometrickými parametry. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší průměry se proto předem vyhrubují. Přídavek

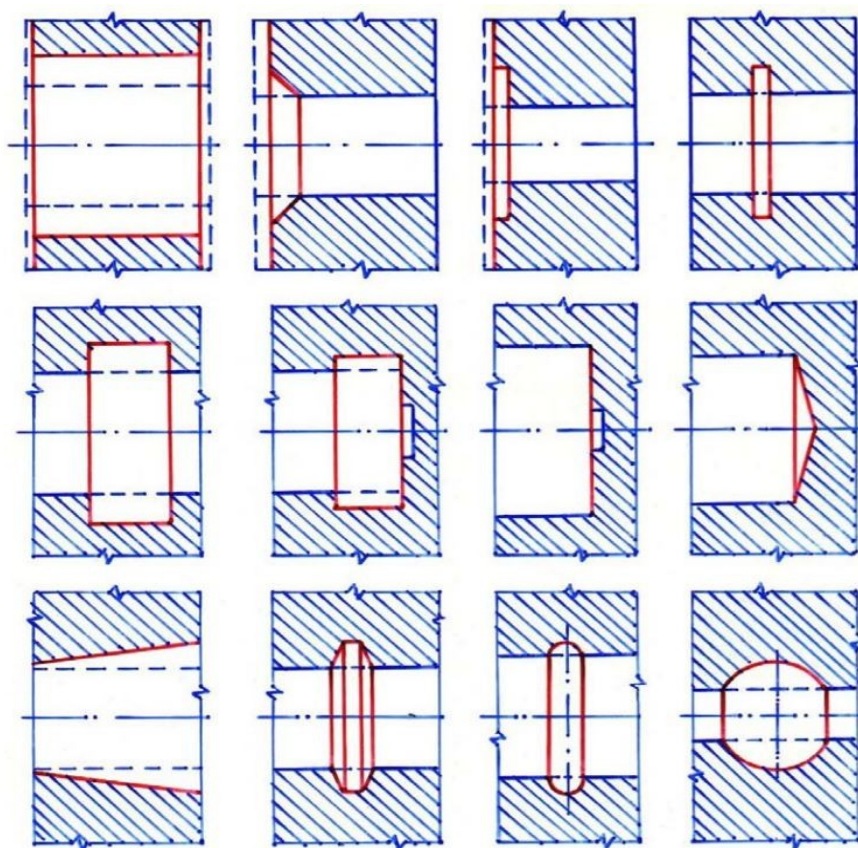
na vystružování by neměl být příliš malý kvůli rychlejšímu opotřebení nástroje – výstružníku. Výstružníky mají zuby přímé nebo ve šroubovici v počtu od 4 do 18 a volí se přednostně lichý počet. Dle způsobu práce dělíme výstružníky na ruční a strojní, dle způsobu upínání na stopkové a nástrčné. Vystružováním se dosahuje stupeň přesnosti IT6 až IT8 dle způsobu práce. [7]

### Zahlubování

Zahlubování slouží k vytvoření odstupňovaných děr - zapuštění šroubů s válcovou nebo kuželovou hranou, sražení hran apod. (Obr. 10 bcd). Nástroje pro zahlubování nazýváme záhlubníky. Dělíme je na válcové, kuželové a ploché (čelní). Zahlubování děr velkých průměrů se provádí zahlubovacími a zarovnávacími noži. Pro zahlubování v nepřístupných místech se používá tzv. zpětné zahlubování. [1]

### Vyvrtávání

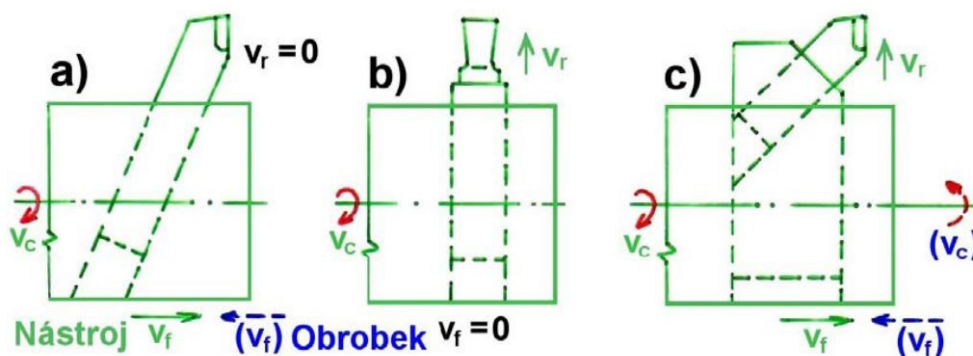
Vyvrtávání je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto. Obrábí se vyvrtávacími noži nebo noži upevněnými ve vyvrtávacích tyčích nebo hlavách. Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy (Obr. 11). U složitějších obrobků mohou být všechny uvedené tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru. Vyvrtávací stroje navíc v případě potřeby umožňují obrábět jmenované povrchy a plochy i ve vnějším provedení. [4,7]



Obr. 11 Příklady ploch obráběných vyvrtáváním [4]

#### Rozdělení způsobu vyvrtávání dle kinematiky

- pro výrobu válcových ploch – nástroj vykonává řezný pohyb, vyvrtávací nůž je pevně uložen v nástroji a nástroj koná podélný posuv,
- pro výrobu zápichů – nástroj vykonává řezný pohyb, vyvrtávací nůž se vysouvá z nástroje v radiálním směru,
- pro výrobu tvarových rotačních ploch – nástroj nebo obrobek vykonává hlavní pohyb i podélný posuv



Obr. 12 Kinematika vyvrtávání [4]

### 2.3. Rozdělení nástrojů

Vrtáky jsou nástroje, které se používají na vyhotovení slepých nebo průběžných otvorů do plného materiálu nebo předvrtaného otvoru tam, kde se nevyžaduje ani vysoká rozměrová a tvarová přesnost, ani malá drsnost povrchu. Vrtáky jsou nejčastěji dvoubřité, některé druhy jednobřité nebo vícebřité.

Nástroje na vrtání lze rozdělit dle různých kritérií. Rozdělení níže je vzato dle charakteristiky vrtané díry do materiálu.

#### Vrtáky pro vrtání krátkých děr

- šroubovité
- kopinaté
- s vymenitelnými špičkami
- s vyměnitelnými břitovými destičkami

#### Vrtáky pro vrtání hlubokých děr

- dělové
- hlavňové
- ejektorové
- BTA a STS

#### Vrtáky pro speciální metody

- středící
- frézovací
- do plechu (korunkové)
- odstupňované
- sdružené

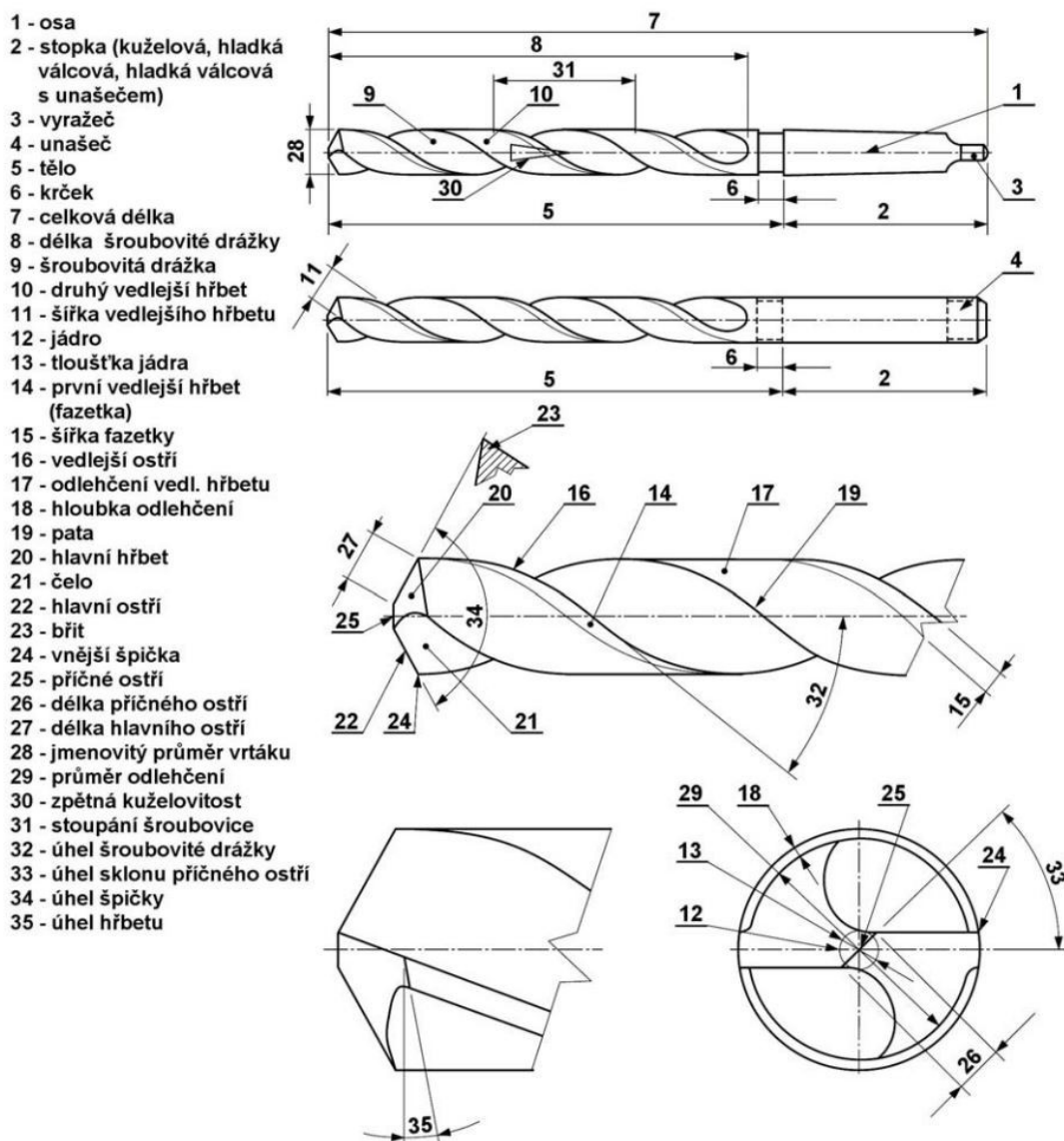
#### Nástroje pro dokončovací metody

- výhrubník
- výstružník
- záhlubník

Jelikož se tato práce zabývá vrtáním krátkých děr, budou zde detailněji představeny pouze nepoužívanější nástroje z této kategorie.

## 2.4. Šroubovitý vrták

Šroubovité vrtáky jsou nejčastěji používanými nástroji pro vrtání válcových krátkých děr hlubokých méně než pětinasobek průměru. Vrtáky se vyrábí z HSS a s řeznými destičkami ze SK (malé průměry vrtáků i jako celokarbidové). Nástroj má řeznou, vodící a upínací část, která je válcová nebo kuželová. Válcová stopka se používá u vrtáků menších rozměrů a upíná se do vrtací hlavy. Vrtáky větších rozměrů se upínají do vřetena pomocí kuželové stopky. Šroubový vrták s kuželovou a válcovou stopkou je znázorněn na (Obr. 13).

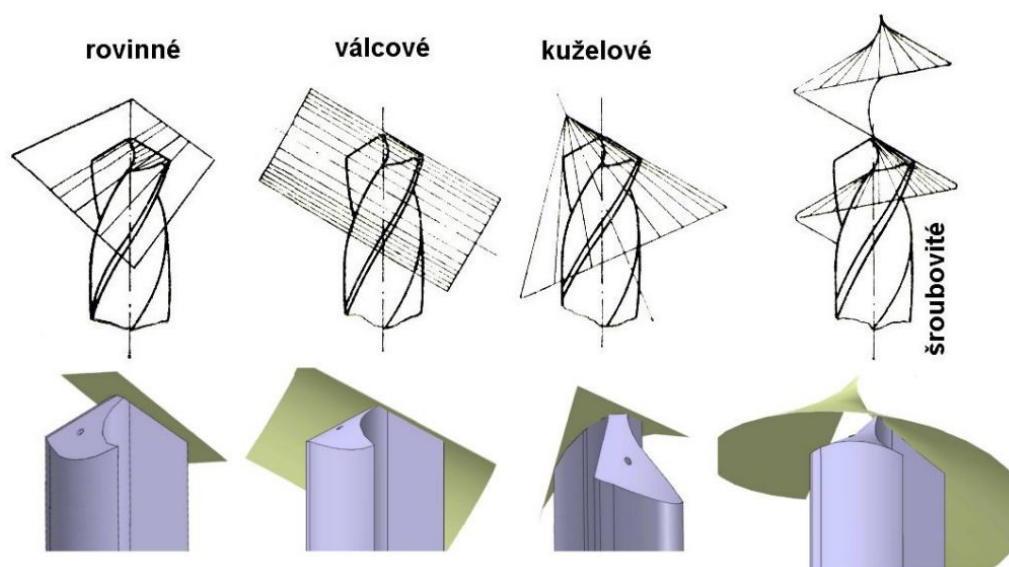


### 2.4.1. Geometrie břitů

Základním tvarem břitů vrtáku je klín. Dvě šroubovitě drážky ležící proti sobě pro plynulý odvod třísek a přívod chladicí kapaliny vytvářejí hlavní a vedlejší břity a vodící fazetky. Vrták se od čela ke stopce na délce 100 mm nepatrně zužuje o 0,04 až 0,3 mm kvůli snížení tření vodící fazetky ve vyvrtané díře. [3]

Na vrtáku, jako na každém jiném nástroji, jsou základní úhly, ke kterým patří:

Úhel hřbetu  $\alpha_0$ : je vytvořen podbroušením špičky vrtáku. Na obvodu má nejmenší hodnotu (6 až 18 °), směrem ke středu vrtáku se zvětšuje. Zvětšení závisí na použité metodě ostření (Obr. 14). Velké úhly hřbetu, jakož i čela snižují mechanickou pevnost řezných klínů, což je zvlášť nebezpečné při vrtání tvrdých a vysoko pevnostních materiálů.

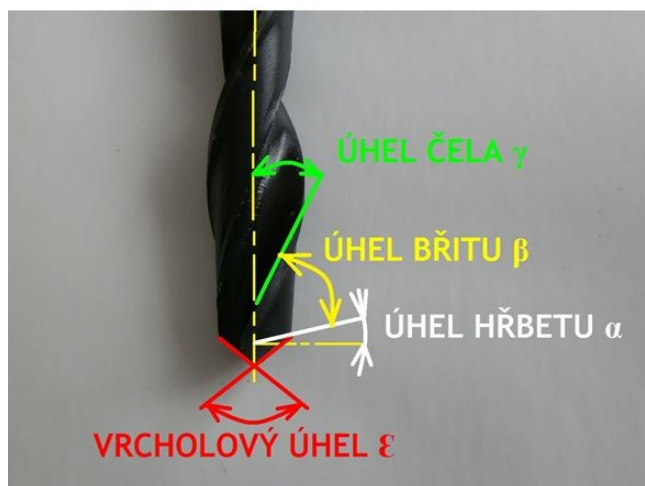


Obr. 14 Způsoby podbroušení hřbetních ploch [2]

Úhel břitu  $\beta_0$ : je úhel, který spolu svírají šroubovitě drážky s kuželovými ploškami hrotu (špičky).

Úhel čela  $\gamma_0$ : je závislý na úhlu sklonu šroubovice a vzdálenosti místa řezné hrany od osy vrtáku. Největší hodnotu má na obvodu vrtáku, kde je úhel sklonu šroubovice největší. Směrem do středu vrtáku se hodnota úhlu čela zmenšuje, až v okolí příčné řezné hrany nabývá záporné hodnoty. Při menším úhlu čela se lépe odvádějí třísky z drážky.





Obr. 15 Základní řezné úhly

Úhel sklonu příčného ostří  $\varphi$ : je konstantní a bývá  $55^\circ$ . Kromě těchto úhlů jsou na vrtáku úhly, jejichž velikost se volí jen podle druhu obráběného materiálu.

Úhel špičky  $\varepsilon$ : (nebo také vrcholový úhel) se pro běžný materiál volí  $118^\circ$ , pro tvrdé materiály až  $145^\circ$  a pro plasty  $50^\circ$ . Menší vrcholový úhel zajišťuje snadnější odvod tepla a středění nástroje, zároveň ale snižuje trvanlivost nástroje. Nástroj pro hůře obrobitelné materiály bývá vybroušen pod dvojitým úhlem pro dosažení menší posuvové síly řezání a zároveň snížení tepelného namáhání nástroje (Obr. 16). Tento úhel má velký vliv na výdrž a výkon nástroje včetně jakosti otvoru. [8]

Úhel stoupání šroubovitě drážky  $\omega$ : (boční úhel čela) dle tohoto úhlu se vrtáky označují písmeny N, H a W udávající jejich typ.

Typ N: ( $\omega = 19^\circ - 40^\circ$ ) - klasické provedení, je určen k vrtání děr různých druhů oceli střední a větší pevnosti a všech druhů litiny. [3]

Typ H: ( $\omega = 10^\circ - 19^\circ$ ) - je vhodný pro vrtání tvrdých a křehkých materiálů, např. tvrdé oceli a laminátové desky [3].

Typ W: ( $\omega = 27^\circ - 45^\circ$ ) - je vhodný pro vrtání měkkých a houževnatých materiálů, kde vznikají plynulé a dlouhé třísky, např. slitiny hliníku, mědi a zinku, měkké plasty [3].



## 2.4.2. Opotřebení a ostření šroubovitých vrtáků

Nástroj musí být po opotřebení ostřen na hřbetních plochách břitů tak dlouho, až mají hlavní břity i příčné ostří správný tvar. Zároveň by měla být odstraněna opotřebovaná část fazetky kvůli zakusování nástroje. Pro snížení tlaku na nástroj a zlepšení tvoření třísky se provádí korekce (broušení) čela vrtáků v oblasti hlavního a příčného ostří (obr. 16). Po přebroušení hlavních břitů se nechá jen malé příčné ostří, jelikož toto ostří materiál neřeže, ale pouze stlačuje. Poté lépe proniká do materiálu, může se však nesymetricky ztupit a vrták pak „hází“, proto by měla být délka příčného ostří alespoň 1/10 průměru vrtáku. [3]



Obr. 16 Úpravy čela šroubovitých vrtáků [3]

Nesprávné broušení vrtáku bývá příčinou jeho házení v obráběném materiálu, nechtěnému zvětšení díry, kvality povrchu díry a také nižší životnosti vrtáku. Po správném ostření musí být jejich tvar zkontrolován pomocí měrek. [3]

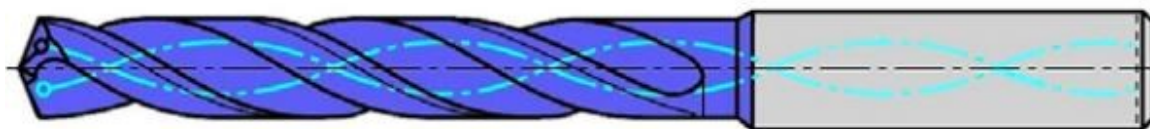
### 2.4.3. Materiály pro šroubovité vrtáky

Šroubovité vrtáky jsou převážně vyráběny z rychlořezné nástrojové oceli, která je houževnatá a používá se pro vrtáky namáhané krutem. Pro zlepšení otěruvzdornosti bývají povlakovány nitridem titanu (TiN), který je tvrdý, otěruvzdorný a tepelně odolný. Vrtáky s TiN vrstvou mají zlatou barvu (Obr. 17).



*Obr. 17 Monolitní vrták s povlakem TiN [2]*

Pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů se používají šroubovité vrtáky s pájenými destičkami ze SK nebo monolitní SK vrtáky. Vrtáky s pájenými destičkami mají tvrdé břity, přitom jejich tělo je houževnaté, hodí se pro vrtání až pětinasobku průměru malým posuvem a vysokou řeznou rychlostí. Monolitními SK vrtáky lze vrtat i do šikmých ploch. Šroubovité vrtáky se vyrábí také s otvory pro centrální přívod řezné kapaliny (Obr. 18). [1,3]

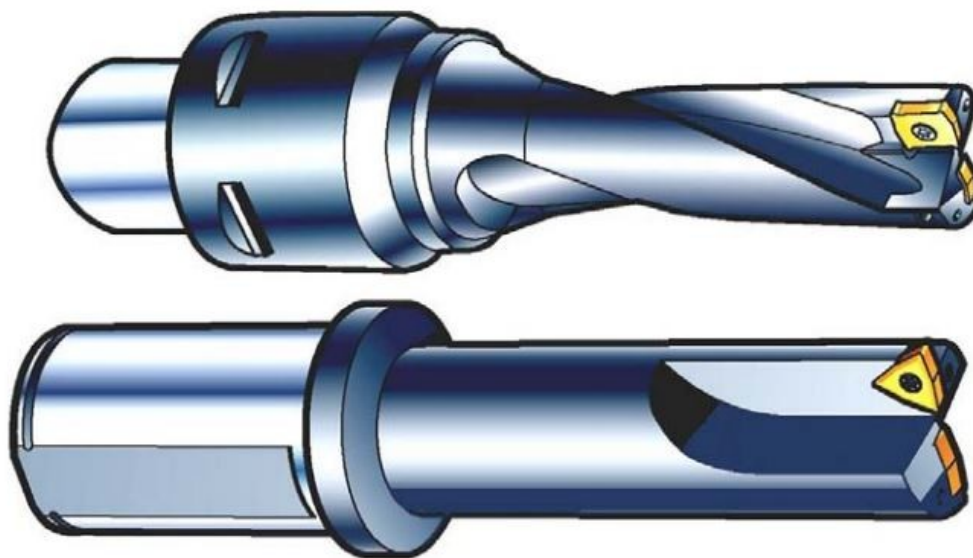


*Obr. 18 Vrták s centrálním přívodem řezné kapaliny [4]*

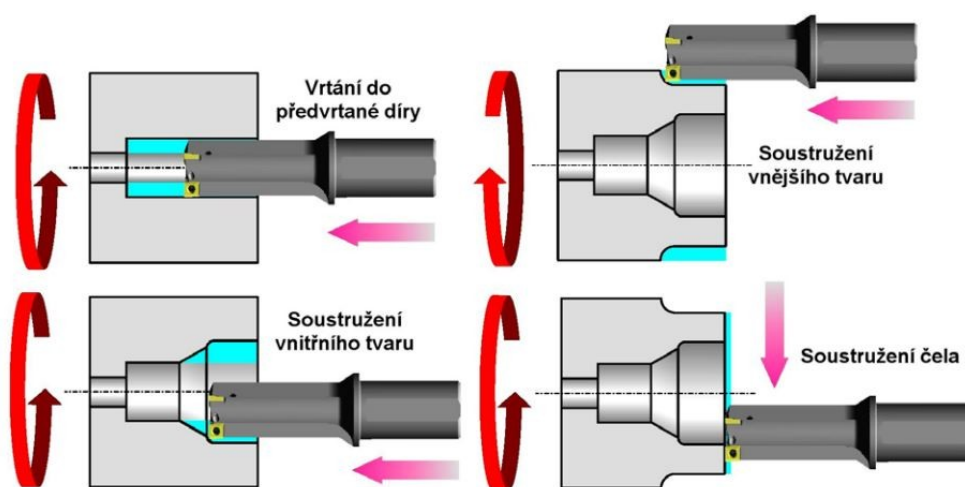
### 2.5. Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Mají několik břitových destiček ze SK různých tvarů připevněné pomocí zápustných šroubů, u větších vrtáků pomocí kazet usnadňující výměnu a ochranu lůžka před opotřebením. Vnitřní dutinou v těle vrtáku je přiváděna řezná kapalina k místu řezu. Na rozdíl od šroubovitých vrtáků umožňují vrtáky s VBD 5 až 10 krát vyšší úběr materiálu při vrtání krátkých děr. Z důvodu rozdílné řezné rychlosti se u některých vrtáků používají na obvodu destičky z povlakovaného SK a středové destičky se volí z nepovlakovaného SK. Trvanlivost takto zvolených destiček je přibližně stejná a použité se vyměňují současně. Nepříznivé pracovní podmínky vznikající při vrtání se zlepšují použitím různých

destiček, které jsou opatřeny utvařeči třísek. Většina vrtáků s VBD lze použít i pro soustružení vnitřních nebo vnějších válcových ploch (Obr. 19). [1,4]



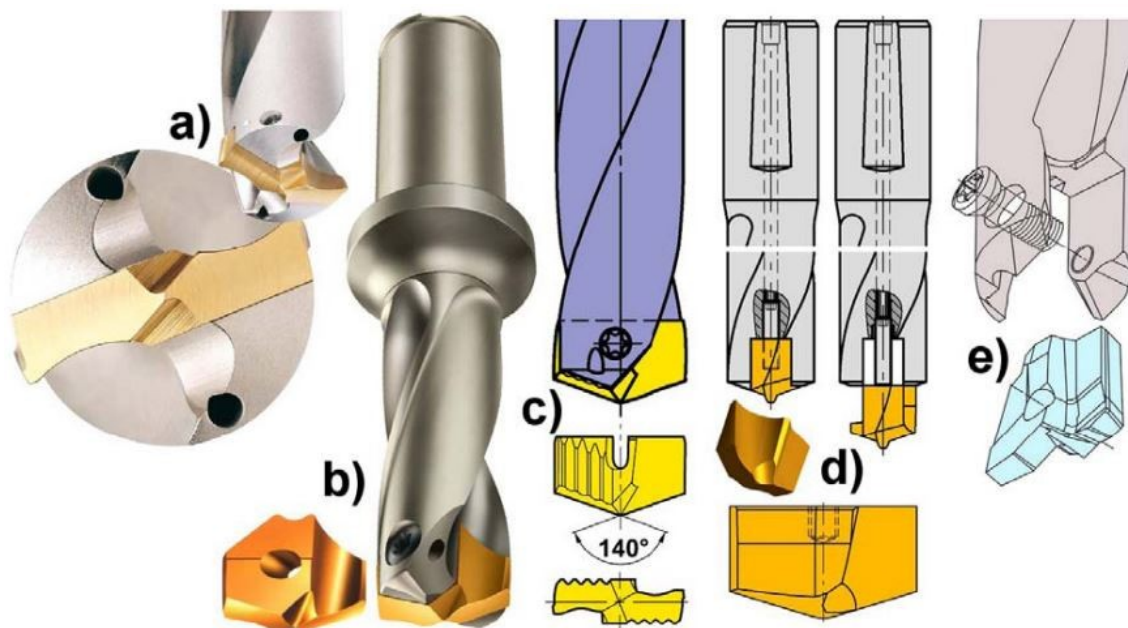
Obr. 19 Vrták s VBD [4]



Obr. 20 Pracovní možnosti vrtáku s VBD [4]

## 2.6. Vrtáky s vyměnitelnou špičkou

Vyrábí se se špičkou ve formě břitové destičky (korunky) (Obr. 21) nebo vyměnitelné hlavice (Obr. 22). Materiál pro výrobu destiček a hlavic se volí většinou povlakovaný SK. Hlavice existují s různou geometrií podle obráběného materiálu a dalších technologických požadavků. [1]



Obr. 21 Vrtáky s vyměnitelnými destičkami [4]



Obr. 22 Vrták s vyměnitelnou hlavicí [4]

## 2.7. Rozdělení strojů

Ruční elektrické vrtačky jsou při práci drženy jednou (dvěma) rukama. Slouží k vrtání malých děr (cca do 13 mm), pro malosériovou výrobu, domácí použití. Ruční vrtačky se vyrábí i jako akumulátorové, při práci v místech, kde není dostupný přívod elektrické energie.

Stolní vrtačky se používají maximálně do průměru 20 mm. Mají velmi jednoduchou konstrukci. Vřeteník je posuvný po krátkém sloupu a lze tak nastavovat výšku vzhledem k pracovnímu stolu. Otáčky vřetene se regulují pomocí stupňů řemenic, na které se ručně mění řemen. Posuv vřetene je taktéž ruční. [7]

Sloupové vrtačky umožňují vertikální posuv vřeteníku i pracovního stolu po sloupu. Pomocí vestavěné převodovky je možné regulovat otáčky vřetena. Posuv vřetene je mechanický. Upínání obrobku se provádí na otočném pracovním stole, větší součásti na základovou desku vrtačky. [7]

Otočné vrtačky nebo také radiální, s radiálně přestavitelným vřetenem pro vrtání většího počtu děr do velkých a těžkých obrobků, které není možné polohovat. Proto se přemísťuje vřeteno stroje na saních po rameni, které je možné otáčet kolem sloupu.

Stojanové vrtačky Pro vrtání otvorů do průměru přibližně 80 mm. Tyto vrtačky jsou podstatně tužší stroje a jsou určeny pro velké výkony. Mají skříňový stojan, na kterém se pohybuje vřeteník včetně čtyřhranného stolu. Tuto část lze po svislém vedení stojanu nastavit co nejbližší k výrobku.

Speciální vrtačky jsou určeny pro speciální vrtací operace. Řadíme sem: vrtačky na vrtání hlubokých děr, více vřetenové vrtačky, souřadnicové vrtačky, stavebnicové vrtačky, atd. [1]



### 3. PLECHY OD ŠVÉDSKÉ HUTI SSAB Oxelosund

#### 3.1. Historie a vznik značky Hardox

V 70. letech 20. Století se na trhu objevují první ohybatelné a svařovatelné otěruvzdorné plechy. Během několika let výroby tvrdost a odolnost Hardoxu zaujala větší spektrum výrobců v těžkém průmyslu. Značka Hardox byla představena v roce 1983 jako obchodní značka pro otěruvzdorné plechy. Dalším významným krokem pro identifikaci značky bylo zavedení celoplošného značení díky červenohnědému antikoroznímu nátěru.



*Obr. 23 Otěruvzdorný plech Hardox 400*

Po řadě velkých investicí se stala švédská firma SSAB Oxelosund nejmodernější hutí svého odvětví na světě. Výroba kalených ocelových plechů spočívá v unikátním výrobním cyklu nastaveném na parametry, které jsou pro výrobu těchto typů ocelí důležité. Velmi úzká specializace hutě v Oxelosundu zajišťuje, aby se kalicí proces prováděl převážně ve vlastní produkci oproti ostatním výrobcům.

#### 3.2. Výrobní proces

Výrobní cyklus začíná vlastní výrobou koksu díky australskému a americkému uhlí včetně železné rudy ze severního Švédska. Následují dvě vysoké pece, které jsou schopny vyrábět surové železo s podílem síry pod 0,02 %. Ze surového železa se poté vyrobí ocel

v 217 tunovém LD konvertoru. Následuje vakuování a rafinace tekuté oceli, díky nimž se snižuje obsahy plynů a nečistot a zároveň se ocel dle potřeby dolegovává na požadované chemické složení. Obsah síry v takto zpracované oceli Hardox je cca 0,001 %. Ocel se dále dvou Proudovým horizontálním kontilitím odleje do bram, které se válcují na čtyřválcové válcovací stolici, disponující válcovacím tlakem 10 tis. tun, což je v této třídě celosvětově nejvyšší hodnota. Rozměrově hotový plech pokračuje po válcování na tepelné zpracování. V případě plechu Hardox se jedná o kalení a popouštění. Právě kalení plechů spolu s výchozí čistotou oceli rozhoduje nejvýrazněji o výsledných vlastnostech plechu. Precizování mechanických a technologických vlastností není u oceli Hardox samoúčelné. [10]

Tyto oceli pracují velmi často v podmínkách náročných nejen na otěr, ale i na rázové namáhání. Často je nutné je svařovat ve složitých podmínkách nebo opravovat pomocí svařování. Funkčnost dílů z těchto ocelí se většinou požaduje i za záporných teplot. V těchto případech skutečně hraje významnou roli fakt, jestli má ocel houževnatost 60 J při -20 °C nebo jen 30 J, jestli je uhlíkový ekvivalent definující svařování 0,37, nebo 0,81. Je tedy zřejmé, že na první pohled možná příliš puntičkářské rozdíly v parametrech jednotlivých otěruvzdorných ocelí mohou mít dalekosáhlý význam na životnost a ekonomiku celého zařízení. [10]

OCELI tvrdosti cca 400 HB			
Jakost	Tvrdost [HBW]	Houževnatost (KV, -20°C)	Houževnatost (KV, -40°C)
HARDOX 400	370-430	60J	45J
XAR 400	360-440	39J	30J
DILLIDUR 400	370-430	39J	30J
CREUSABRO 4000	340-400	36J	28J
BRINAR 400	360-440	28J	21J
BRINAR 400Cr	340-440	24J	18J
FORA 400 BC	360-440	28J	16J

*Obr. 24 Srovnání houževnatosti otěruvzdorných ocelí tvrdosti 400 HB [13]*

### 3.3. Rozdělení

Podle své tvrdosti se dělí na dvě základní skupiny Hardox 400 (400 HB) a Hardox 500 (500 HB), doplněné přechodovou jakostí Hardox 450 (450 HB), extrémně tvrdou ocelí Hardox 600 (600 HB) a extrémně houževnatou ocelí Hardox HiTuf.



	Tvrdost* HBW	Vrubová houževnatost** KV, -40°C	Mez kluzu** Re	Mez pevnosti** Rm	Uhlíkový ekvivalent**		Tloušťka plechu mm
					CEV	CET	
Hardox HiTuf***	310–370	95 J	950 MPa	980 MPa	0,55	0,36	40-120
Hardox 400	370–430	45 J	1000 MPa	1250 MPa	0,37	0,27	3,2-130
Hardox 450	425–475	40 J	1200 MPa	1400 MPa	0,48	0,35	3,2-80
Hardox 500****	470–530	30 J	1300 MPa	1550 MPa	0,62	0,41	4,0-80
Hardox 550	525–575	30 J	1400 MPa	1700 MPa	0,72	0,48	10-50
Hardox 600	570–640	20 J	1650 MPa	2000 MPa	0,73	0,55	8,0-50

\*Garantované hodnoty. \*\*Typické hodnoty pro tloušťku plechu 20 mm (vyjma oceli Hardox HiTuf). \*\*\*Typické hodnoty pro tloušťku plechu 40–70 mm. \*\*\*\*Garantované hodnoty tvrdosti pro tloušťku plechu 4–32 mm. Pro tloušťku 32,1–80 mm je garantováno 450–540 HBW.

Obr. 25 Mechanické vlastnosti oceli Hardox [12]

Hardox 400 je nejrozšířenější v řadě ořezavzdorných plechů Hardox. Vzhledem k vysoké úrovni houževnatosti a bezproblémové svařitelnosti se často používá jako ořezavzdorný a konstrukční plech současně. [9]

Hardox 450 byl vyvinut původně pro korby nákladních automobilů. Nabízí zvýšenou tvrdost (tedy i ořezavzdornost) při zachování vysoké houževnatosti a velmi dobré svařitelnosti. V současné době se stále častěji používá i na jiné aplikace, v nichž se předtím používal materiál Hardox 400. [9]

Hardox 500 je používán hlavně v aplikacích, kde se vyžaduje velmi vysoká životnost v podmínkách ořezavzdornosti nebo pro aplikace ve velmi tvrdých horninách nebo minerálech. [9]

Hardox 600 nabízí extrémní tvrdost při vysoké houževnatosti a konkuruje materiálům jako ocelolitiny, manganové litiny, keramika, a nabízí lepší dostupnost a zpracovatelnost než uváděné materiály. [9]

Nejčastější aplikace ocelí Hardox jsou spojeny se zpracováním surovin a stavebních odpadů (skluzy, vodící lišty, vibrační podavače, korečky, drtiče, korby nákladních automobilů).

Ořezavzdorné kalené plechy jsou pochopitelně jen jedním z materiálů, které se používají v abrazivním prostředí. Vedle nich existují návary, ořezavzdorné lité oceli a litiny, manganová litá ocel, nekalené ořezavzdorné plechy (typu Abrazit), speciální umělé hmoty a gumy, keramické materiály. Základním důvodem, proč jsou plechy Hardox, (respektive obecně ořezavzdorné kalené plechy) nejpoužívanějším anti abrazivním materiálem je jejich univerzálnost. Zatímco ostatní materiály většinou fungují jen v těžce

vymezených parametrech abrazivního namáhání (kromě litin a litých ocelí), kalené plechy Hardox odolávají většině druhů abrazivního opotřebení.

Dalším důvodem rozšíření kalených plechů je jejich dostupnost. Není třeba kupovat do zásoby a skladovat náhradní díly, díky servisním firmám, které tyto plechy mají naskladněny přímo od výrobce SSAB (Gama ocel, Blatenské strojírny Blatná, Dimont Ostrava, TMT Chrudim, Winfa Tmava). [11]

### **3.4. Doporučené podmínky při vrtání do plechu Hardox**

Otěruvzdorné plechy Hardox lze vrtat nástroji z HSS nebo ze SK. Typ používaného vrtáku závisí na vrtačce, která je k dispozici, a na její stabilitě. Bez ohledu na typ vrtačky je však nezbytné minimalizovat vibrace.

U otočných nebo sloupových vrtaček je možno použít vrtáky z rychlořezné oceli legované kobaltem 5 % a 8 %.

Pro snížení vibrací se doporučuje:

- nepoužívat dřevěné podložky
- zajistit co nejmenší vzdálenost vrtáku od sloupku vrtačky
- vrtat co nejbližší podložkám
- zajistit dostatečný přísun chladicí emulze
- zajistit co nejmenší vzdálenost mezi špičkou vrtáku a ramenem
- těsně před tím, než vrták prorazí materiál, uvolnit zhruba na sekundu posun, jinak by se špička vrtáku mohla v důsledku vůle a pružnosti utrhnout

U stabilních strojů (jako jsou CNC frézky, vyvrtávačky nebo karusely) lze zvolit vrtáky ze SK. Plechy Hardox lze vrtat jakýmkoliv nástrojem s vyměnitelnými břitovými destičkami na stabilním a nevibrujícím zařízení. [9]

Problém při vrtání Hardoxu není ani tak jeho tvrdost ale špatná tepelná vodivost. Běžná ocel je mnohem vodivější a lépe odvádí teplo od břitu nástroje, je to obecné pravidlo, ať se vrtá, soustruží či frézuje. Je tedy hlavně důležité, jak je nástroj nabroušen a jak je také chlazen chladicí kapalinou. Z praxe se doporučuje používat menší řezné rychlosti, než je uvedené výrobcem nástrojů, kvůli trvanlivosti břitů nástroje.

#### 4. SOUČASNÁ TECHNOLOGIE VRTÁNÍ OTVORŮ DO OCELI HARDOX V PODMÍNKÁCH FIRMY

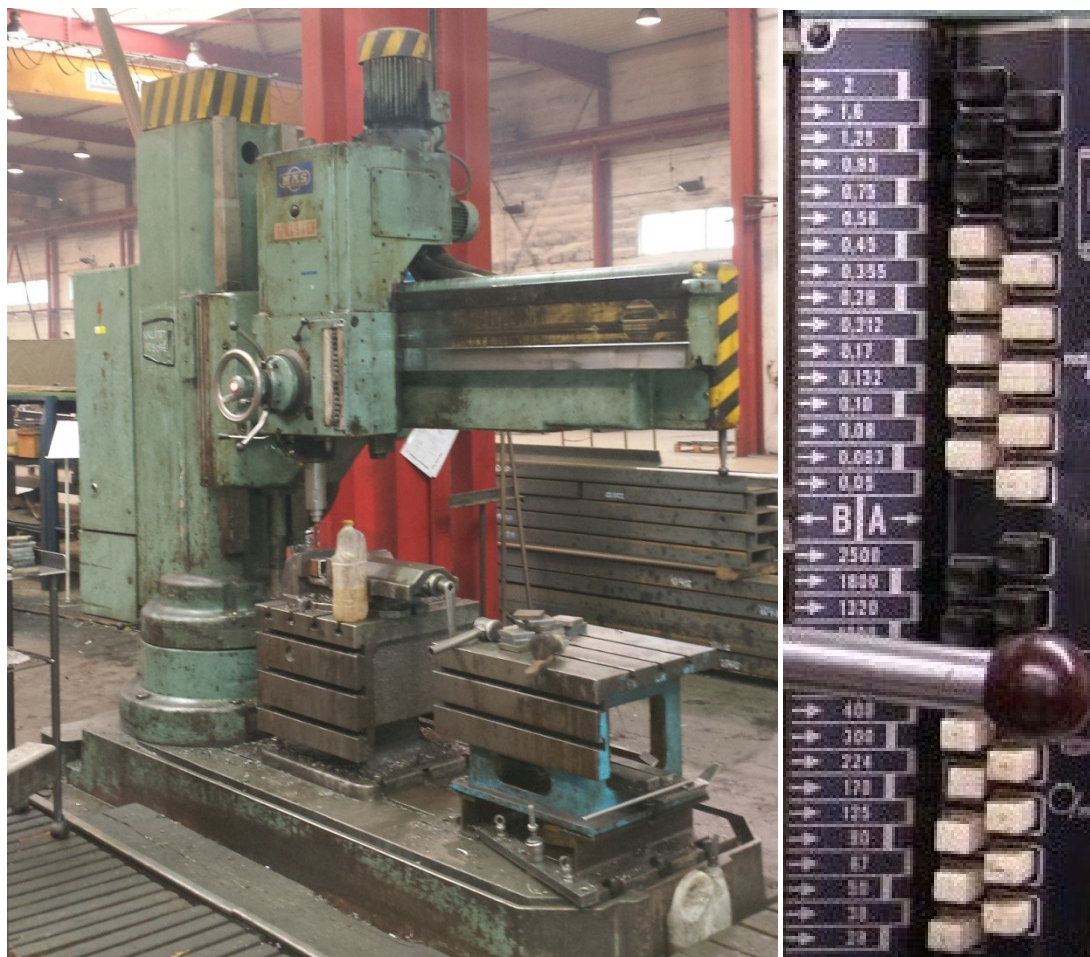
Úkolem je vyvrtat 20 otěruvzdorných plechů Hardox 450 o tloušťce 12 mm. Na každém plechu je 12 průchozích děr o průměru 14 mm včetně zahloubení pro zápusťné šrouby (výkres viz. příloha č. 1).



*Obr. 26 Zahloubená díra*

##### 4.1. Použitý obráběcí stroj

Otočná radiální vrtačka VO 50 od výrobce Kovosvit MAS je určena pro vrtání otvorů a řezání závitů do středně velkých a členitých součástí. Vrtačka je dodávána v provedení s tlačítkovou předvolbou a programovým řízením otáček, posuvů a hloubek vrtání s pevným dorazem pro vrtání na přesnou hloubku a s hydraulickým zpevňováním.



Obr. 27 Sloupová vrtačka VO 50 – rozsah posuvu a otáček vřetene


Tab. 1 Technické parametry radiální vrtačky VO 50/1600 [14]

Upínací plocha základny	1820x986 mm
Max. průměr vrtání	50 mm
Max. průměr vyvrtávání	120 mm
Svislé přestavení ramene	875 mm
Přestavení vřeteníku po rameni	1280 mm
Kužel vřetene	MORSE 5
Rozsah otáček vřetene	28 - 2500 ot/min
Rozsah posuvu vřetene	0,05 - 2 mm/ot
Počet stupňů otáček a posuvu vřetene	16
Výkon motoru vřeteníku při 1430 ot/min	4 kW



## 4.2. Použité nástroje

HSS vrták s redukčním pouzdrem (Morse)

<b>Použití:</b> Vrtáky doporučené pro běžné vrtání v součástkách z nelegované i legované oceli, ocelolitiny do pevnosti 900 N/mm <sup>2</sup> , šedé, temperované i tvárné litiny, spékané oceli, hliníkové slitiny s krátkou třískou, bronzu, houževnaté mosazi apod.		
Rozměrová řada: $\varnothing 2,0 \div 90,0 \text{ mm}$ , tváření: $\varnothing 2,0 \div 21,0$		
Hloubka vrtání: $5 \times D$	$\lambda = 25^\circ \div 30^\circ$	$\epsilon = 118^\circ$
Způsob výroby: 2,0-14,0 V, 14,25-90,0 F tabulka níže: 2,0-21,0 T	Povrchová úprava: 	Způsob ostření: Form N, 14,1-50,5 A
$\varnothing D = 2,0 \div 14,0$ MORSE 1	$\varnothing D = 14,25 \div 23,0$ MORSE 2	$\varnothing D = 23,25 \div 317,5$ MORSE 3
$\varnothing D = 32,0 \div 50,5$ MORSE 4	$\varnothing D = 51,0 \div 76,0$ MORSE 5	$\varnothing D = 77,0 \div 90,0$ MORSE 6

**Vysvětlivky:** L= celková délka I= délka šroubovice

Objednací číslo	$\varnothing D$ mm	L mm	I mm	MK	Hmotn. kg/ks
A401400V000S	14,0	189	108	1	0,136
A402500F000S	25,0	281	160	3	0,719



Obr. 28 Šroubovitý vrták HSS od fy Stimzet [8]

## 4.3. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu

Před samotným vrtáním bylo třeba snížit tvrdost plechu Hardox a to lze docílit nahřátím autogenem na přibližnou teplotu 800°C v místech vrtání. Poté je třeba nechat plech vychladnout cca na 120 minut. Tento proces není zcela standardní při vrtání do tohoto typu oceli, ale umožňuje vrtat díry klasickým HSS vrtákem. (viz. příloha č. 2)

Průchozí díra:

Řezné podmínky:

$$v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,05 \text{ mm}$$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{\pi \cdot 14} \cong 227 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  **$n = 224 \text{ min}^{-1}$**

Zahloubení:

Provádí se vrtákem stejného typu o průměru  $D = 25 \text{ mm}$  s vrcholovým úhlem  $90^\circ$ .

Řezné podmínky:  $v_c = 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$f = 0,05 \text{ mm}$$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10}{\pi \cdot 25} \cong 127 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  **$n = 125 \text{ min}^{-1}$**

**Strojní čas na vyvrtání 1 díry dle vztahu (1.22):**

$$l_n = 1 \text{ mm}, l_p = 5 \text{ mm}$$

Průchozí díra:

$$t_{AS1(1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{1 + 12 + 5}{224 \cdot 0,05} = \frac{18}{11,2} = \mathbf{1,6 \text{ min}}$$

$$t_{AS1(12)} = \mathbf{19,2 \text{ min}}$$

Po vyvrtání 12 děr následuje jejich zahloubení

Zahloubení: u zahloubení nepočítáme s přeběhem

$$t_{AS1(z1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l}{n \cdot f} = \frac{1 + 7}{125 \cdot 0,05} = \frac{8}{6,25} = \mathbf{1,28 \text{ min}}$$

$$t_{AS1(z12)} = \mathbf{15,36 \text{ min}}$$

**Celkový strojní čas na vyvrtání 12 děr:**

$$t_{ASC1(12)} = t_{AS1(12)} + t_{AS1(z12)} = 19,2 + 15,36 = \mathbf{34,56 \text{ min}}$$



#### 4.4. Celkový čas vrtání jednoho plechu

K celkovému času vrtání 12. děr u jednoho plechu je nutné připočítat i vedlejší časy předehřevu plechu v místech vrtání a jeho vychladnutí, přebroušení, polohování obrobku a výměna nástrojů. Časy spojené s přípravou vrtání se nezapočítávají.

##### Vedlejší čas předehřevu:

$$t_{AVP1} \cong 60 \text{ min}$$

Vrtáky vykazaly po vyvrtání 3 děr u vrtání a 4 děr u zahloubení opotřebení a bylo nutné je přebrousit. Tuto operaci bylo nutné vykonat během vrtání 1 plechu u vrtání 4x a u zahloubení 3x včetně přebroušení po 12. díře. Přebroušení jednoho vrtáku bylo stanoveno na 10 min.

##### Vedlejší čas přebroušení:

$$t_{AVB1(12)} = 3 \cdot 10 + 2 \cdot 10 = 50 \text{ min}$$

##### Vedlejší čas:

Výměna nástroje, čištění obrobku a změna řezných podmínek na vrtačce je stanovena na 20 min pro 12 děr.

$$t_{AV1(12)} = 20 \text{ min}$$

##### Celkový čas:

$$t_{A1} = t_{ASC1(12)} + t_{AVP1} + t_{AVB1(12)} + t_{AV1(12)} = 34,56 + 60 + 50 + 20 = 164,56 \text{ min}$$


## 5. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Pro variantu 1 jsem zvolil HSS vrták s příměsí kobaltu 5 % a pro variantu 2 HSS vrták s příměsí kobaltu 8 % od firmy Stimzet. Tyto vrtáky budou použity pro vrtání na sloupové vrtačce. Doporučené řezné podmínky od výrobce se v praxi neosvědčily. Po několika mm vrtání vykázaly oba vrtáky v lepším případě opotřebení nebo v horším se vrták zlomil (Obr. 29). Po několika pokusech byly stanoveny optimální řezné podmínky.



Obr. 29 Zlomený vrták

### 5.1. Varianta 1 - šroubovitý vrták HSS s příměsí CO 5 %

<b>Použití:</b> Vrták do kovu. Vysoce výkonné vrtáky se zvýšenou tepelnou odolností doporučené k vrtání v součástkách z těžce obrobitelných materiálů, legované oceli a ocelolitiny, zvláště na vrtání v oceli pro objemové tváření za tepla i studena, válce válcovacích stolic, oceli pro cementování a zušlechťování, nerezové oceli.			
Rozměrová řada: $\varnothing 5,0 \div 50,0$ mm			
Hloubka vrtání: <b>5 x D</b>	$\lambda = 25^\circ \div 30^\circ$		$\epsilon = 128^\circ$
Způsob výroby: 5,0-14,0 V, 14,25-50,0 F	Povrchová úprava: 		Způsob ostření: Form N, 5,0-14,0 Form C
$\varnothing D = 5,0 \div 14,0$ <b>MORSE 1</b>	$\varnothing D = 14,5 \div 23,0$ <b>MORSE 2</b>	$\varnothing D = 23,5 \div 31,5$ <b>MORSE 3</b>	$\varnothing D = 32,0 \div 50,0$ <b>MORSE 4</b>

**Vysvětlivky:** L= celková délka I= délka šroubovice

Objednací číslo	$\varnothing D$ mm	L mm	I mm	MK	Hmotn. kg/ks
<b>A431400V400S</b>	14,00	189	108	1	0,210

<b>A432500F400S</b>	25,00	281	160	3	0,710
---------------------	-------	-----	-----	---	-------



Obr. 30 Šroubovitý vrták HSS CO5 od fy Stimzet [8]

### 5.1.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu

#### Průchozí díra:

Doporučené řezné podmínky od výrobce:  $v_c = 5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,1 \text{ mm}$

Optimální řezné podmínky:  $v_c = 4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,063 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 4}{\pi \cdot 14} \cong 91 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  $n = 90 \text{ min}^{-1}$

#### Zahloubení:

Provádí se vrtákem stejného typu o průměru  $D = 25 \text{ mm}$  s vrcholovým úhlem  $90^\circ$ .

Řezné podmínky:  $v_c = 5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,05 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 5}{\pi \cdot 25} \cong 63,7 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  $n = 67 \text{ min}^{-1}$

**Strojní čas na vyvrtání 1 díry dle vztahu (1.22):**

$l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $l_p = 5 \text{ mm}$

Průchozí díra:

$$t_{AS2(1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{1 + 12 + 5}{90 \cdot 0,063} = \frac{18}{5,67} = \mathbf{3,17 \text{ min}}$$

$$t_{AS2(12)} = \mathbf{38,04 \text{ min}}$$

Po vyvrtání 12 děr následuje jejich zahloubení

Zahloubení: u zahloubení nepočítáme s přeběhem

$$t_{AS2(z1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l}{n \cdot f} = \frac{1 + 7}{67 \cdot 0,05} = \frac{8}{3,35} = \mathbf{2,38 \text{ min}}$$

$$t_{AS2(z12)} = \mathbf{28,56 \text{ min}}$$

**Celkový strojní čas na vyvrtání 12 děr:**

$$t_{ASC2(12)} = t_{AS2(12)} + t_{AS2(z12)} = 38,04 + 28,56 = \mathbf{66,6 \text{ min}}$$

#### **5.1.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu**

Vrtáky vykazaly po vyvrtání 3 děr u vrtání a 4 děr u zahloubení opotřebení a bylo nutné je přebrousit. Tuto operaci bylo nutné vykonat během vrtání 1 plechu u vrtání 4x a u zahloubení 3x včetně přebroušení po 12. díře. Přebroušení jednoho vrtáku bylo stanoveno na 10 min.

**Vedlejší čas přebroušení:**

$$t_{AVB2(12)} = (2 \cdot 10) + (2 \cdot 10) = \mathbf{40 \text{ min}}$$

**Vedlejší čas:**


Výměna nástroje, čištění obrobku a změna řezných podmínek na vrtačce je stanovena na 20 min pro 12 děr.

$$t_{AV2(12)} = \mathbf{20 \text{ min}}$$

**Celkový čas:**

$$t_{A2} = t_{ASC2(12)} + t_{AVB2(12)} + t_{AV2(12)} = 66,6 + 40 + 20 = \mathbf{126,6 \text{ min}}$$

## 5.2. Varianta 2 - šroubovitý vrták HSS s příměsí CO 8%

<b>Použití:</b> Vysoce výkonné vrtáky s vysokou tepelnou odolností, s vyšším obsahem Co (8%), se strmou šroubovicí a velkou tloušťkou jádra se speciálním ostřím. Jsou méně citlivé na zlomení. Jsou doporučovány k vrtání do těžce obrobitelných materiálů jako jsou plechy <b>HARDOX 400</b> a <b>HARDOX 500</b> a pancéřové plechy.			
Rozměrová řada: $\varnothing 10,0 \div 50,0$ mm			
Hloubka vrtání: $3 \times D$	$\lambda = 10^\circ \div 15^\circ$	$\varepsilon = 128^\circ$	
Způsob výroby: <b>F</b>	Povrchová úprava: 	Způsob ostření: 10,0-40,0 Form <b>C</b> , 41,0-50,0 <b>A</b>	
$\varnothing D = 10,0 \div 18,0$ <b>MORSE 2</b>	$\varnothing D = 19,0 \div 26,0$ <b>MORSE 3</b>	$\varnothing D = 27,0 \div 47,0$ <b>MORSE 4</b>	$\varnothing D = 48,0 \div 50,0$ <b>MORSE 5</b>

**Vysvětlivky:** **L** = celková délka **I** = délka šroubovice

Objednací číslo	$\varnothing D$ mm	L mm	I mm	MK	Hmotn. kg/ks
<b>A461400F111S</b>	14	190	90	2	0,21
<b>A462500F111S</b>	25	225	105	3	0,58



Obr. 31 Šroubovitý vrták HSS CO8 od fy Stimzet [8]

### 5.2.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu

Průchozí díra:

Doporučené řezné podmínky od výrobce:  $v_c = 9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,12 \text{ mm}$

Optimální řezné podmínky:  $v_c = 7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $f = 0,063 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 7}{\pi \cdot 14} \cong 159,2 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  $n = 170 \text{ min}^{-1}$

### Zahloubení:

Provádí se vrtákem stejného typu o průměru  $D = 25 \text{ mm}$  s vrcholovým úhlem  $90^\circ$ .

Řezné podmínky:  $v_c = 7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$f = 0,063 \text{ mm}$$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 7}{\pi \cdot 25} \cong 89,17 \text{ min}^{-1}$$

volím dle rozsahu stupnice stroje  $n = 90 \text{ min}^{-1}$

**Strojní čas na vyvrtání 1 díry dle vztahu (1.22):**

$$l_n = 1 \text{ mm}, l_p = 5 \text{ mm}$$

Průchozí díra:

$$t_{AS3(1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{1 + 12 + 5}{170 \cdot 0,063} = \frac{18}{10,71} = \mathbf{1,68 \text{ min}}$$

$$t_{AS3(12)} = \mathbf{20,16 \text{ min}}$$

Po vyvrtání 12 děr následuje jejich zahloubení

Zahloubení: u zahloubení nepočítáme s přeběhem

$$t_{AS3(z1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l}{n \cdot f} = \frac{1 + 7}{90 \cdot 0,063} = \frac{8}{5,67} = \mathbf{1,41 \text{ min}}$$

$$t_{AS3(z12)} = \mathbf{16,92 \text{ min}}$$

**Celkový strojní čas na vyvrtání 12 děr:**

$$t_{ASC3(12)} = t_{AS3(12)} + t_{AS3(z12)} = 20,16 + 16,92 = \mathbf{37,08 \text{ min}}$$

### **5.2.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu**

Vrták vykázal po vyvrtání 6 děr opotřebení a bylo nutné jej přebrousit. Tuto operaci bylo nutné vykonat během vrtání 1 plechu u vrtání 2x a u zahloubení 1x včetně přebroušení po 12. díře. Přebroušení jednoho vrtáku bylo stanoveno na 10 min.



**Vedlejší čas přebroušení:**

$$t_{AVB3(12)} = 20 \text{ min}$$

**Vedlejší čas:**

Výměna nástroje, čištění obrobku a změna řezných podmínek na vrtačce je stanovena na 20 min pro 12 děr.

$$t_{AV3(12)} = 20 \text{ min}$$

**Celkový čas:**

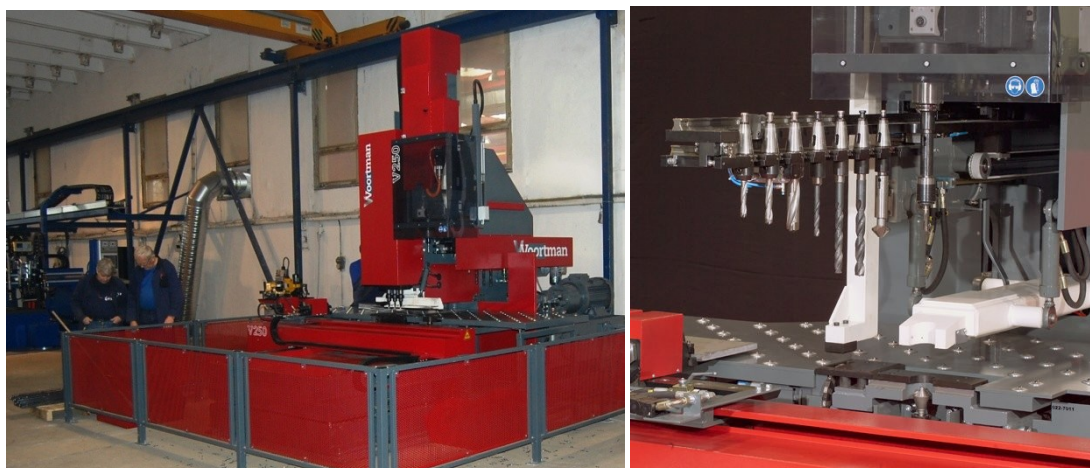
$$t_{A3} = t_{ASC3(12)} + t_{AVB3(12)} + t_{AV3(12)} = 37,08 + 20 + 20 = 77,08 \text{ min}$$

**5.3. Varianta 3 - šroubovitý vrták KSEM s vyměnitelnou korunkou**

Během psaní této bakalářské práce společnost TMETAL s.r.o. investovala do koupě nových nástrojů pro CNC děrovací centrum Voortman V250, proto jako 3. variantu jsem zvolil modulární šroubovitý vrták KSEM s vyměnitelnou korunkou od firmy Kennametal. Pro zahlubování byl po konzultaci s výrobcem nástrojů doporučen zahlubovací kroužek od Firmy Kennametal. Tím se maximálně minimalizuje čas pro vyvrtání i zahloubení děr.

**CNC děrovací centrum Voortman V250**

V konstrukci stroje jsou implementovány nejnovější servo technologie. Voortman je jediným výrobcem, který nabízí vrtání pomocí nástrojů s karbidovými plátky a vysoko rychlostní polohování jako standardní funkci zařízení. V250 je schopná zpracovávat desky o velikosti až 1,4 m bez přepolohování. Nesrovnatelný s dnešním trhem je pevný rám tvaru C, který dává možnost zpracovávat plechy až do šířky 1 metr. Značící, odjehlovací a zahlubovací jednotka a automatický výměník nástrojů jsou volitelné položky, kterými může být stroj V200 dovybaven. Software "VACAM-Machine edition" je instalován v ovládacím systému stroje. Ovládací systém může být implementován do podnikové sítě, takže NC data mohou být přímo stahovány ze systémových souborů databáze společnosti, do systému stroje. [15]

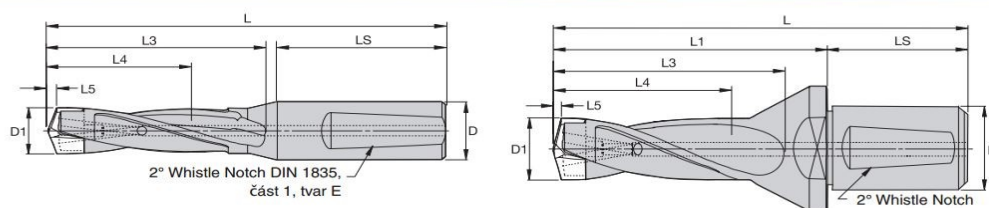


Obr. 32 CNC děrovací centrum Voortman V250

Tab. 2 Technické parametry děrovacího centra Voortman V250 [15]

Max. rozměry plechu bez přepolohování	1400 x 1000 x 60 mm
Průměr vrtání	5 - 40 mm
Řezání závitů	M6 – M30 mm
Otáčky vřetene	100 – 2500 ot/min
Mazání/chlazení	Vnitřní chlazení vzduch/olej
Pouzdro	SK40
Automatický výměník nástrojů	VTC 8/40, 8 pozic
Tlak chlazení	4 bar

**KSEM Držáky se stopkou Whistle Notch 2° (WN/WD) – metrické**



- Průměr vrtací korunky KSEM je určen velikostí sedla.
- Držák je dodáván včetně upínacího šroubu a šroubováku.
- Vrtací korunky jsou dodávány samostatně, viz strany B34-B46.



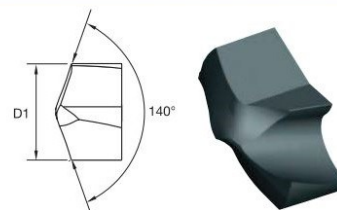
**5xD stopka WN/WD – metrická**

D1		objednací číslo	katalogové číslo	velikost sedla držáku	D	L	L1	L3	L4 max	L5	LS	centrální upínací šroub	upínací šroubovák	D1	D1 max
mm	palce														
14,00	.5512	1772748	KSEM140R5WN16M	B	16	139	–	87	70	2,2	48	364.016	170.289	14,00	14,50

Obr. 33 držák KSEM [16]

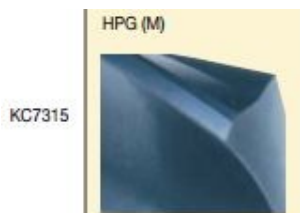
# Karbidové vrtací korunky KSEM – metrické a palcové

Tolerance			
D1 metrické	Tolerance h8	D1 palcové	Tolerance h8
12,5 až 18,0	+0,000/-0,027	0,500 až 0,709	+0,000/-0,0010
>18,0 až 30,0	+0,000/-0,033	>0,709 až 1,181	+0,000/-0,0013
>30,0 až 40,0	+0,000/-0,039	>1,181 až 1,575	+0,000/-0,0015



## Geometrie HPG

D1		objednáací číslo	ISO katalogové číslo	ANSI katalogové číslo	velikost sedla/série	KC7315
mm	palce					
14,00	.5512	2499735	KSEM1400HPGM	KSEM1400HPGM	B	●



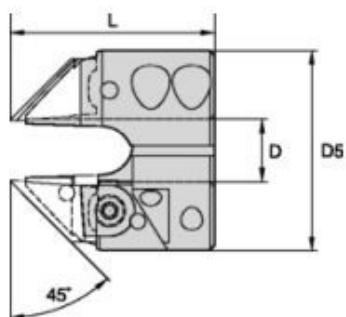
Univerzální jemnozrnný karbid s povlakem PVD-TiAlN:

- nejvyšší úroveň odolnosti proti opotřebení pro vyšší řezné rychlosti.
- účinnější než karbidy PVD-TiN.
- první volba pro legované a vysoce legované oceli i litinu.
- nejnovější geometrie s nízkým tlakem pro vysoké rychlosti a posuvy; až 7xD bez předvrtání.

H	
S	
N	
K	○
M	
P	●

- první volba
- alternativní volba

Obr. 34 Karbidová vrtací korunka KSEM [16]



objed. číslo	mm	in	mm	in	mm	in
KSEM140SEFM	14,0	.5512	40	1.57	40	1.57

Obr. 35 Zahlubovací kroužek KSEM [16]

### 5.3.1. Celkový strojní čas vrtání jednoho plechu

Průchozí díra:

Doporučené řezné podmínky od výrobce:  $v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$   
 $f = 0,12 \text{ mm}$

Optimální řezné podmínky:  $v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$   
 $f = 0,08 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{\pi \cdot 14} \cong 795,2 \text{ min}^{-1}$$

volím  $n = 800 \text{ min}^{-1}$

Zahloubení:

Řezné podmínky:  $v_c = 47 \text{ m.min}^{-1}$   
 $f = 0,05 \text{ mm}$

Otáčky vrtáku dle vztahu (1.1):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 47}{\pi \cdot 25} \cong 598,7 \text{ min}^{-1}$$

volím  $n = 600 \text{ min}^{-1}$

**Strojní čas na vyvrtání 1 díry dle vztahu (1.22):**

$l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $l_p = 5 \text{ mm}$

Průchozí díra:

$$t_{AS4(1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{1 + 12 + 5}{800 \cdot 0,08} = \frac{18}{10,71} = \mathbf{0,28 \text{ min}}$$

$$t_{AS4(12)} = \mathbf{3,36 \text{ min}}$$

Po každé vyvrtané díře následuje operace zahloubení zahlubovacím kroužkem připevněným na těle vrtáku.

Zahloubení: u zahloubení nepočítáme s přeběhem

$$t_{AS4(z1)} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l}{n \cdot f} = \frac{1 + 7}{600 \cdot 0,05} = \frac{8}{5,67} = \mathbf{0,27 \text{ min}}$$

$$t_{AS4(z12)} = \mathbf{3,24 \text{ min}}$$

**Celkový strojní čas na vyvrtání 12 děr:**

$$t_{ASC4(12)} = t_{AS4(12)} + t_{AS4(z12)} = 3,36 + 3,24 = \mathbf{6,6 \text{ min}}$$

### 5.3.2. Celkový čas vrtání jednoho plechu

**Vedlejší čas:**

U tohoto testu se započítá vedlejší čas automatického polohování nástrojů a obrobku.

$$t_{AV4(12)} = \mathbf{4 \text{ min}}$$

**Celkový čas:**

$$t_{A4} = t_{ASC4(12)} + t_{AV4(12)} = 6,6 + 4 = \mathbf{10,6 \text{ min}}$$

## 6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro výběr nejvhodnější technologie vrtání děr do plechu Hardox je potřeba provést technicko-ekonomické zhodnocení současné technologie se třemi nově navrhovanými technologiemi. Časy pro jeden plech z předchozí kapitoly budou v této kapitole přepočteny na 20 plechů potřebných pro vyvložkování výsypky.

Hodinové sazby strojů a vedlejší práce obsluhy byly stanoveny následovně.

- hodinová sazba vrtačky VO 50: 1000,-
- hodinová sazba CNC děrovacího centra Voortman V250 3000,-
- hodinová hrubá mzda dělníka 400,-

### 6.1. Náklady na původní technologii

*Tab. 3 Náklady na strojní čas současné technologie*

<b>celkový strojní čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>11,52 h</b>
<b>hod. sazba vrtačky</b>	1000 Kč
<b>náklady na strojní čas</b>	<b>11520 Kč</b>

*Tab. 4 Náklady na vedlejší čas současné technologie*

<b>celkový vedlejší čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>43,3 h</b>
<b>hod. hrubá mzda dělníka</b>	400 Kč
<b>náklady na vedlejší čas</b>	<b>17320 Kč</b>

Pořizovací cena šroubovitého vrtáku HSS je 425 Kč. Pro vrtání a zahlubování byly použity 2 ks.

*Tab. 5 Shrnutí současné technologie*

<b>celkový čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>54,82 h</b>
<b>pořizovací náklady nástrojů</b>	850 Kč
<b>celkové náklady na vrtací operace</b>	<b>29690 Kč</b>



## 6.2. Náklady při použití varianty 1 - HSS vrtáku s příměsí CO 5%

Tab. 6 Náklady na strojní čas varianty 1

<b>celkový strojní čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>22,2 h</b>
<b>hod. sazba vrtačky</b>	1000 Kč
<b>náklady na strojní čas</b>	<b>22000 Kč</b>

Tab. 7 Náklady na vedlejší čas varianty 1

<b>celkový vedlejší čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>20 h</b>
<b>hod. hrubá mzda dělníka</b>	400 Kč
<b>náklady na vedlejší čas</b>	<b>8000 Kč</b>

Pořizovací cena 1 ks šroubovitého vrtáku HSS CO5 je 876 Kč. Pro vrtání a zahlubování byly použity 2 ks.

Tab. 8 Shrnutí varianty 1

<b>celkový čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>42,2 h</b>
<b>pořizovací náklady nástrojů</b>	1752 Kč
<b>celkové náklady na vrtací operace</b>	<b>31752 Kč</b>

## 6.3. Náklady při použití varianty 2 - HSS vrtáku s příměsí CO 8%

Tab. 9 Náklady na strojní čas varianty 2

<b>celkový strojní čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>12,36 h</b>
<b>hod. sazba vrtačky</b>	1000 Kč
<b>náklady na strojní čas</b>	<b>12360 Kč</b>

Tab. 10 Náklady na vedlejší čas varianty 2

<b>celkový vedlejší čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>13,3 h</b>
<b>hod. hrubá mzda dělníka</b>	400 Kč
<b>náklady na vedlejší čas</b>	<b>5320 Kč</b>

Pořizovací cena 1 ks šroubovitého vrtáku HSS CO8 je 1713 Kč. Pro vrtání a zahlubování byly použity 2 ks.

Tab. 11 Shrnutí varianty 2

<b>celkový čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>25,66 h</b>
<b>pořizovací náklady nástrojů</b>	3426 Kč
<b>celkové náklady na vrtací operace</b>	<b>21106 Kč</b>

#### 6.4. Náklady při použití varianty 3 - šroubovitého vrtáku KSEM

Tab. 12 Náklady na strojní čas varianty 3

<b>celkový strojní čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>2,2 h</b>
<b>hod. sazba vrtačky</b>	3000 Kč
<b>náklady na strojní čas</b>	<b>6600 Kč</b>

Tab. 13 Náklady na vedlejší čas varianty 3

<b>celkový vedlejší čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>1,33h</b>
<b>hod. sazba vrtačky</b>	3000 Kč
<b>náklady na vedlejší čas</b>	<b>3990 Kč</b>

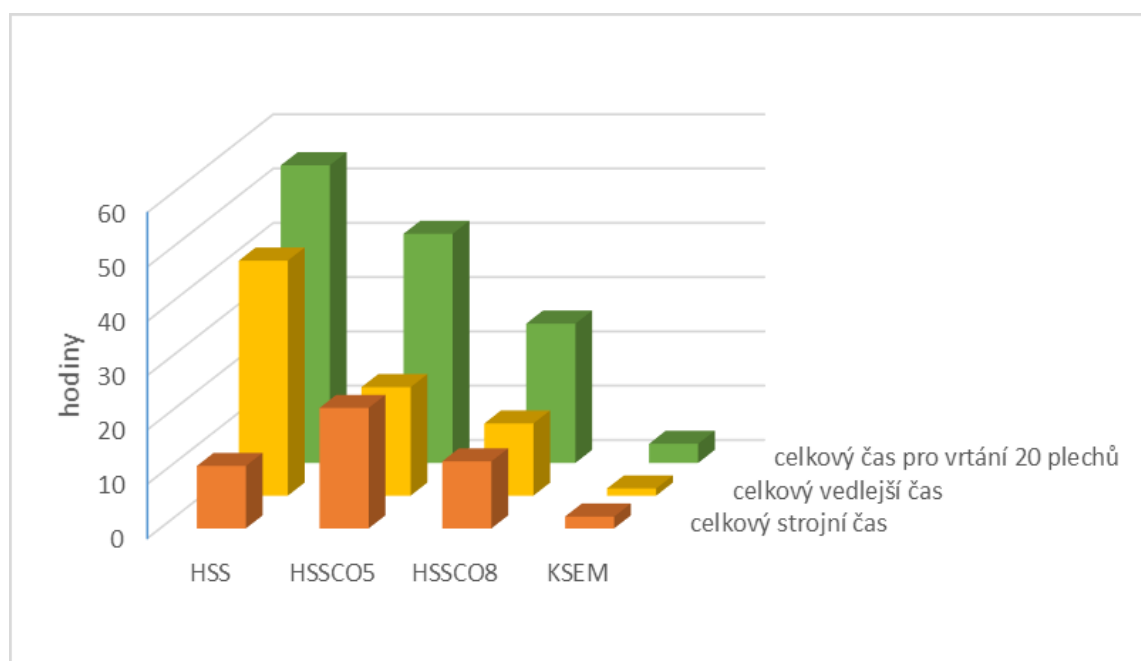
Ceny jednotlivých částí vrtáku: tělo vrtáku 6206 Kč  
vrtací korunka 2704 Kč  
zahlubovací kroužek 8762 Kč  
Pořizovací cena šroubovitého vrtáku KSEM 17672 Kč.

Tab. 14 Shrnutí varianty 3

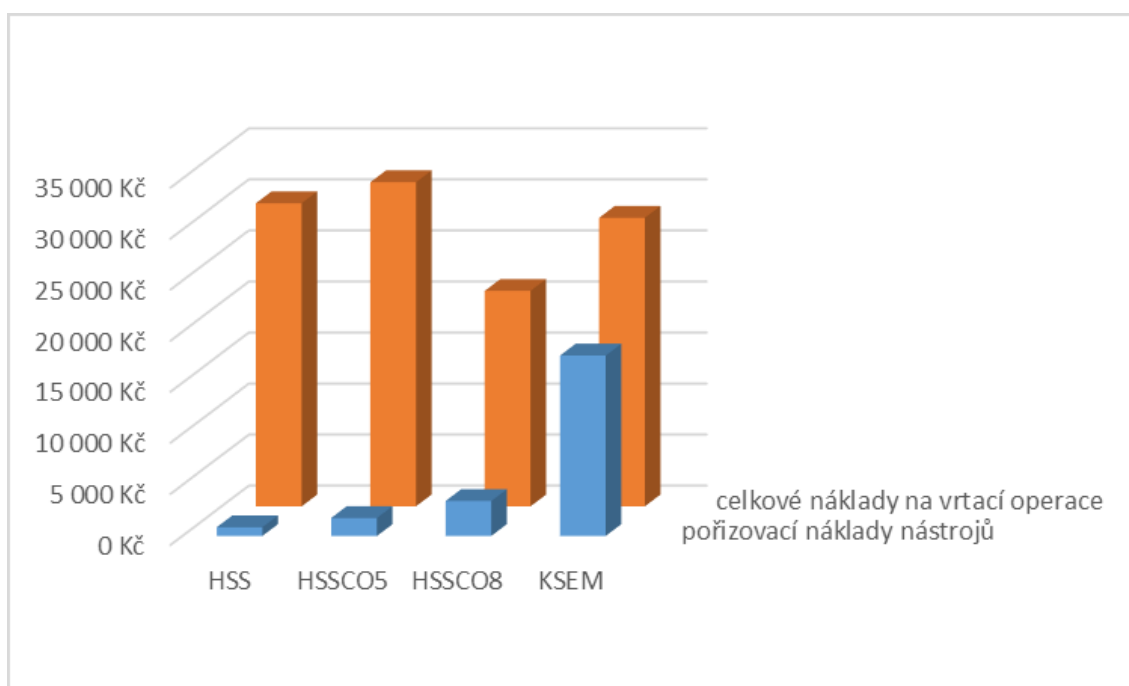
<b>celkový čas pro vrtání 20 plechů</b>	<b>3,53 h</b>
<b>pořizovací náklady nástrojů</b>	17672 Kč
<b>celkové náklady na vrtací operace</b>	<b>28262 Kč</b>

#### 6.5. Celkové srovnání současné a navržené technologie

Graf 1 Srovnání strojních, vedlejších a celkových časů



*Graf 2 Srovnání nákladů na nástroje a celkových nákladů*



Oproti současné technologii odpadá u všech navržených variant nutnost předehřívát plech, avšak musely se snížit řezné podmínky namísto doporučených hodnot od výrobce na optimální hodnotu i s přihlédnutím na trvanlivost nástroje.

Z výsledků je patrné, že cena nástrojů nových technologií je vyšší, ale zároveň jsou zkráceny celkové časy pro vyvrtání všech otěruvzdorných plechů, potřebných pro vyložkování výsypky. Celkové náklady na vrtací operace jsou u všech technologií téměř shodné a proto se jako výsledné kritérium pro nejvhodnější technologii volí celkové časy vrtacích a vedlejších prací.

Jako nejvhodnější varianta vyšla jednoznačně technologie vrtání na CNC děrovacím centru Voortman V250. Jako nástroj bude použit šroubovitý vrták KSEM s vyměnitelnou korunkou a zahlubovacím kroužkem. Trvanlivost vyměnitelné karbidové korunky s povlakem TiAlN přesvědčila vedení společnosti k reálnému nasazení této technologie k vrtání nejen otěruvzdorných plechů, ale i nerezových plechů. Po opotřebení není nutné investovat do celého vrtacího systému KSEM, ale stačí pouze nákup nové vrtací korunky a břitů zahlubovacího kroužku.

## 7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce na téma Vrtání otvorů do tvrdých materiálů bylo navržení nové technologie vrtání do ořezavzdorných plechů Hardox 450 a to z hlediska výrobních časů otvorů a nákladů nových technologií.

V úvodní části této bakalářské práce je prezentována společnost TMETAL s.r.o. včetně obecné charakteristiky daného problému.. Další část byla věnována popisu technologie vrtání. Bylo zde uvedeno základní rozdělení nástrojů na otvory, jejich princip a použití. Dále následuje představení a rozbor ořezavzdorných plechů Hardox od firmy SSAB Oxelosund.

Praktická část práce byla zaměřena na porovnání stávající technologie vrtání s nově navrženými technologiemi. První dvě varianty nové technologie probíhaly na sloupové vrtáče VO 50 a 3. varianta na CNC děrovacím centru Voortman V250. Bylo zde dosaženo optimálních řezných podmínek s ohledem na trvanlivost nástrojů.

V technicko-ekonomickém zhodnocení vyšla jako nejekonomičtější 2. varianta a to HSS šroubovité vrták s 8% příměsí CO. Vzhledem k výrobním časům vedení firmy nejvíce zaujala 3. varianta, tedy šroubovitý vrtací systém KSEM od firmy Kennametal, který při shodných výrobních nákladech dokáže snížit celkový čas pro výrobu otvorů téměř 15x oproti původní technologii a téměř 7x oproti nejekonomičtější 2. variantě. Takto zkrácený výrobní čas je pro firmu důležitější z důvodu krátkých dodacích termínů projektů pro zákazníky. Jako další výhody systému KSEM je třeba zmínit vyšší kvalitu a přesnost roztečí vrtaných otvorů.

Navržené řešení bylo ve firmě TMETAL s.r.o. ověřeno a úspěšně zavedeno pro budoucí zakázky.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedení a zaměstnancům firmy TMETAL s.r.o., zejména panu Jaromíru Josiekovi, Janu Squerzi a Michalu Holešinskému za odborné rady a informace v praktické části mé bakalářské práce.

Děkuji také vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D., za odborné vedení a poskytování rad.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BRYCHTA, J., Čep, R., Nováková, J., Petřkovská, L., *Technologie II, 2. díl*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2008, 142 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
2. BRYCHTA, J., Čep, R., Sadílek, M., Petřkovská, L., Nováková, J., *Nové směry v progresivním obrábění VŠB* – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2007, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
3. DILLINGER, J. a HANDLÍŘ, J. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles cz., 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
4. HUMAR, A. *Technologie I - Technologie obrábění - 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění. 2004. 94 stran. [online]. [vid. 2015-03-25]. Dostupné z: [http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/TI\\_TO-2.cast.pdf](http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/TI_TO-2.cast.pdf)
5. HUMAR, A. *Výrobní technologie II*. [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf)
6. ŘASA, J. a GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl 1. vyd.* Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s r.o., 2000. ISBN 80-7183-207-3.
7. ČEP, R. *Technologie II*. VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, [online]. [cit. 2015-04-08]. <[http://homel.vsb.cz/~cep77/PREZENTACE/Technologie\\_obrabeni\\_prednaska\\_10.pps](http://homel.vsb.cz/~cep77/PREZENTACE/Technologie_obrabeni_prednaska_10.pps)>.
8. STIMZET: *Nástroje na obrábění otvorů*. [online]. [vid. 2015-04-12]. Dostupné z: <[http://www.stimzet.cz/data/vrtaky\\_kuzelove.html](http://www.stimzet.cz/data/vrtaky_kuzelove.html)>
9. GAMA OCEL [online], [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <<http://www.gamaocel.cz/4864/vrtani-a-zahlubovani/>>
10. WINFA [online], [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <<http://www.winf.sk/pdf/h5a.pdf>>
11. WINFA [online], [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <<http://www.winf.sk/pdf/h13a.pdf>>
12. WINFA [online], [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <<http://www.winf.sk/pdf/hardox22222.pdf>>
13. BLATENSKÉ STROJÍRNY BLATNÁ [online], [cit. 2015-04-22] Dostupné z: <<http://www.bsblatna.cz/srovnani.html>>
14. DIFAK [online], [cit. 2015-04-18] Dostupné z: <<http://www.difak.cz/index.php?pid=40>>
15. VOORTMAN [online], [cit. 2015-04-18] Dostupné z: <<http://www.voortman.cz/stroje/zpracovani-plechu/vrtani-plechu.html>>



16. TRIGON Tools [online], [cit. 2015-04-28] Dostupné z: <<http://www.trigon.sk/wp-content/uploads/Kennametal-KSEM-vrtaky.pdf>>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Produkty divize ocelových konstrukcí firmy TMETAL s. r. o. ....	9
Obr. 2	Produkty divize tech. konstrukcí, strojů a zařízení firmy TMETAL s. r. o....	10
Obr. 3	Výsypka pro třídící stanici.....	11
Obr. 4	Vyvložkovaná stěna výsypky .....	11
Obr. 5	Výrobní operace vrtání, zahlubování a vystružování [3] .....	12
Obr. 6	Kinematika vrtání šroubovým vrtákem [5] .....	13
Obr. 7	Průřez třísky při vrtání dvoubřitým šroubovým vrtákem [1] .....	14
Obr. 8	Řezné síly při vrtání [4].....	16
Obr. 9	Dráha nástroje [1] .....	17
Obr. 10	Dokončovací operace [5].....	19
Obr. 11	Příklady ploch obráběných vyvrtáváním [4] .....	21
Obr. 12	Kinematika vyvrtávání [4].....	21
Obr. 13	Základní parametry šroubovitého vrtáku [1].....	24
Obr. 14	Způsoby podbroušení hřbetních ploch [2].....	24
Obr. 15	Základní řezné úhly .....	25
Obr. 16	Úpravy čela šroubovitých vrtáků [3].....	26
Obr. 17	Monolitní vrták s povlakem TiN [2] .....	27
Obr. 18	Vrták s centrálním přívodem řezné kapaliny [4].....	27
Obr. 19	Vrták s VBD [4] .....	28
Obr. 20	Pracovní možnosti vrtáku s VBD [4] .....	28
Obr. 21	Vrtáky s vyměnitelnými destičkami [4] .....	29
Obr. 22	Vrták s vyměnitelnou hlavicí [4].....	29
Obr. 23	Otěruvzdorný plech Hardox 400 .....	31
Obr. 24	Srovnání houževnatosti otěruvzdorných ocelí tvrdosti 400 HB [13] .....	32
Obr. 25	Mechanické vlastnosti oceli Hardox [12].....	33
Obr. 26	Zahloubená díra .....	35
Obr. 27	Sloupová vrtačka VO 50 – rozsah posuvu a otáček vřetene .....	36
Obr. 28	Šroubovitý vrták HSS od fy Stimzet [8].....	37
Obr. 29	Zlomený vrták .....	40
Obr. 30	Šroubovitý vrták HSS CO5 od fy Stimzet [8] .....	41
Obr. 31	Šroubovitý vrták HSS CO8 od fy Stimzet [8] .....	43
Obr. 32	CNC děrovací centrum Voortman V250 .....	46
Obr. 33	držák KSEM [16] .....	46

Obr. 34	Karbidová vrtací korunka KSEM [16] .....	47
Obr. 35	Zahlubovací kroužek KSEM [16] .....	47

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Technické parametry radiální vrtačky VO 50/1600 [14].....	36
Tab. 2	Technické parametry děrovacího centra Voortman V250 [15] .....	46
Tab. 3	Náklady na strojní čas současné technologie .....	50
Tab. 4	Náklady na vedlejší čas současné technologie .....	50
Tab. 5	Shrnutí současné technologie .....	50
Tab. 6	Náklady na strojní čas varianty 1 .....	51
Tab. 7	Náklady na vedlejší čas varianty 1 .....	51
Tab. 8	Shrnutí varianty 1 .....	51
Tab. 9	Náklady na strojní čas varianty 2 .....	51
Tab. 10	Náklady na vedlejší čas varianty 2 .....	51
Tab. 11	Shrnutí varianty 2 .....	51
Tab. 12	Náklady na strojní čas varianty 3 .....	52
Tab. 13	Náklady na vedlejší čas varianty 3 .....	52
Tab. 14	Shrnutí varianty 3 .....	52

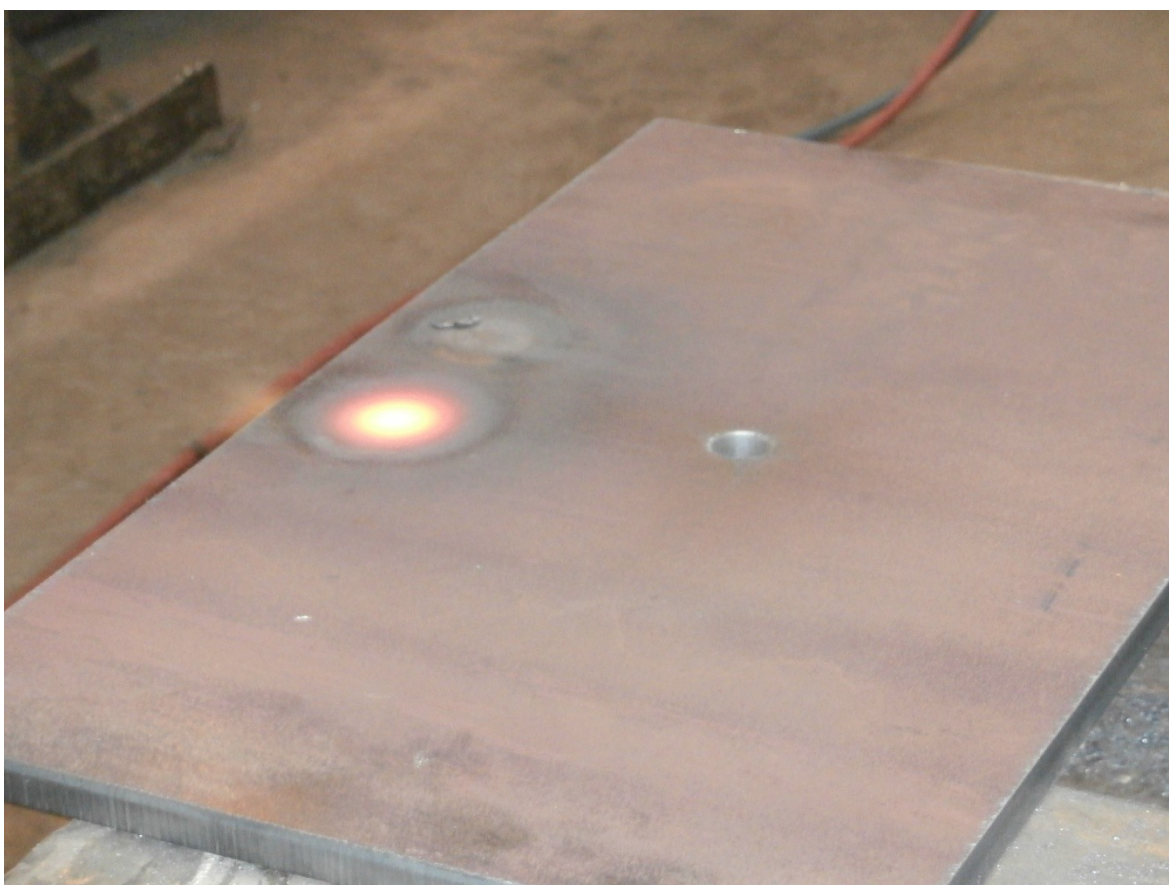
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 – Dílenský výkres otěruvzdorného plechu
- Příloha č. 2 – Ukázky nahřátí plechu autogenem
- Příloha č. 3 – Ukázky vrtání šroubovitým vrtákem HSS
- Příloha č. 4 – Ukázky vrtání šroubovitým vrtákem HSS CO5 a CO8
- Příloha č. 5 – Šroubovitý vrták KSEM

1



**Příloha č. 2 – Ukázky nahřátí plechu autogenem**





**Příloha č. 3 – Ukázka vrtání šroubovým vrtákem HSS**





**Příloha č. 4 – Ukázka vrtání šroubovitým vrtákem HSS CO5 a CO8**





## Příloha č. 5 – Šroubovitý vrták KSEM

